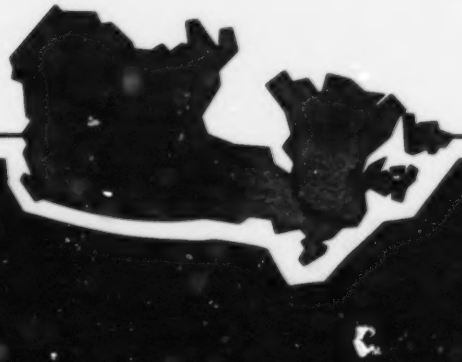
Environment Canada | Environnement Canada
Canadian Forestry Service | Service canadien des forêts

BIOMASS OF THE MERCHANTABLE AND UNMERCHANTABLE PORTIONS OF THE STEM

I.S. Alemdag
Petawawa National Forestry Institute

PI-X-20



Environment Canada | Environnement Canada

00S0272I DEST PVM EXCH COPY 03
SD 391 I5613
VOL ISS 20
INFORMATION REPORT PI-X- (PETAWAWA NATIONAL FORESTRY INSTITUTE)

PETAWAWA NATIONAL FORESTRY INSTITUTE

The Petawawa National Forestry Institute was formed on April 1, 1979, as the result of an amalgamation of the former Petawawa Forest Experiment Station, which had existed for more than 60 years, with the Ottawa-based Forest Management and Forest Fire Research institutes.

In common with the rest of the Canadian Forestry Service, the Petawawa National Forestry Institute has as its objective the promotion of better management and wiser use of Canada's forest resource to the economic and social benefit of all Canadians. Because it is a national institute, particular emphasis is placed on research into problems that transcend regional boundaries or that require special expertise and expensive equipment that cannot be duplicated in CFS regional establishments. Such research is often performed in close cooperation with staff of the regional centres or provincial forest services.

Research at the institute is in two main areas:

FIRE RESEARCH AND REMOTE SENSING. Every year in Canada large areas of productive forest are destroyed by fire. Research concentrates on studies of forest fire behaviour, the development of new methods of fire control, the evaluation of fire-fighting equipment and retardants, and the development of computerized fire management systems that are rapidly finding applications with fire-fighting agencies across the country. The environmental and economic impact of forest fires and the use of fire as a silvicultural tool for intensive forest management are also studied.

In remote sensing, investigations are made into the application of modern satellite and airborne remote sensing systems to forestry problems. In this respect, the ARIES digital image analysis system is proving invaluable.

INTENSIVE FOREST MANAGEMENT. As Canada moves into more intensive management of its forests to meet expected increases in demand for this important resource, the role of this program will become increasingly important. An extensive reforestation program will require a steady supply of high-quality seed of the desired species. Improved growing stock, obtained through tree breeding and forest genetics research, is highly desirable. Increased emphasis is being placed on using the entire above-ground portion of the tree (biomass), but the effect on the environment of this and other forms of intensive management has to be carefully monitored. Biotechnological methods of improving yield while maintaining site productivity are being investigated.

In support of its research programs, the institute has at its disposal a 98-km^2 area of forest in the northern part of the Petawawa military reserve. Records of experiments and sample plots have been maintained since the 1920s. The forest also serves as a field laboratory for students from local schools, and a visitor centre is operated during the summer months.

84- 3103 /

BIOMASS OF THE MERCHANTABLE AND UNMERCHANTABLE PORTIONS OF THE STEM

Information Report PI-X-20

I.S. Alemdag

Petawawa National Forestry Institute
Canadian Forestry Service
Environment Canada
1982

Issued under the authority
of the Minister, Environment Canada

©Minister of Supply and Services Canada 1983
Catalogue No. Fo46-11/20-1983E
ISSN 0706-1854
ISBN 0-662-12312-3

Additional copies of this publication can
be obtained from:

Technical Information and Distribution Centre
Petawawa National Forestry Institute
Canadian Forestry Service
Environment Canada
Chalk River, Ontario
K0J 1J0

Cette publication est aussi disponible en français
sous le titre Biomasse des parties marchandes et non-marchandes de la tige

Contents

1	Abstract/Résumé
1	Introduction
1	Premises
1	Definitions
2	Rationale
3	Methods and materials
3	Data
4	Methods
4	Results and discussions
4	Test results
7	Two-dimension equations
8	One-dimension equations
8	Stump deductions
8	Applications
9	Summary
10	Acknowledgement
10	Literature
11	Appendix: Tables

Figures

2	1. Schematic presentation of the analyzed stem components.
3	2. Diagram illustrating the diameter-ratio concept.
3	3. Distribution of observed ovendry mass percents of merchantable wood over merchantable top diameter/breast height diameter ratio in jack pine.
5	4. On jack pine, using Model 4, distribution of estimated values of merchantable wood along 45° line (a) in terms of OM% and (b) in terms of OM.
6	5. On jack pine, using Model 11, distribution of estimated values of merchantable wood along 45° line (a) in terms of OM% and (b) in terms of OM.

7 | 6. Behavior of ovendry mass of merchantable wood percent in jack pine: (a) over dm/d ratio, (b) over d for given dm values, and (c) over dm for given d values.

BIOMASS OF THE MERCHANTABLE AND UNMERCHANTABLE PORTIONS OF THE STEM

Abstract

Equations for estimating separately the mass of merchantable and unmerchantable (stump and top) portions of the stem for variable top diameters and heights were derived for nine tree species. Results are expressed as percentages of ovendry mass of the total stem wood plus bark. Examples of application are provided.

Résumé

Des équations de biomasse ont été établies pour neuf espèces d'arbre. Elles estiment séparément la masse des sections non marchandes (souche et sommet) et marchandes de la tige et tiennent compte de hauteurs variables et de différents diamètres à hauteur marchande. Les résultats sont exprimés en pourcentage de la masse anhydre de la totalité de l'arbre comprenant l'écorce. Des exemples d'application sont également fournis.

INTRODUCTION

Biomass equations have been developed for many tree species from various regions in Canada. With some possible exceptions, these equations produce ovendry mass estimates by tree components, mainly for stem wood, stem bark, live branches and twigs plus leaves (or needles). The whole tree estimate is derived either by the summation of those values or by employing a separate equation. The resulting estimates enable calculation of the gross residues left in the forest or lumber yard after the removal of the desired part of the tree, the stem wood. However, a refinement is necessary, since only the merchantable part of the stem is customarily removed for conversion, and the rest is left unutilized. This unmerchantable top represents a source of potential energy and its amount should be known. The aim of this report is to develop equations for estimating separately the ovendry mass of the merchantable (utilized) portion of the stem, and the top (the remaining part). Another remaining part, the stump, is to be investigated within the merchantable portion. The tree species are: red pine (Pinus resinosa Ait.), jack pine (Pinus banksiana Lamb.), black spruce (Picea mariana (Mill.) B.S.P.), white spruce (Picea glauca (Moench) Voss), balsam fir (Abies balsamea (L.) Mill.), trembling aspen (Populus tremuloides Michx.), largetooth aspen (Populus grandidentata Michx.), white birch (Betula papyrifera Marsh.) and red oak (Quercus rubra L.). Sample material was collected only in Ontario.

I.S. Alemdag is a research scientist at the Petawawa National Forestry Institute, Canadian Forestry Service, Environment Canada, Chalk River, Ontario, K0J 1J0.

Manuscript approved for publication: 8 December 1982.

PREMISES

Definitions

In the present study, for the purpose of analysis, the merchantable portion of the stem was defined as the part of the stem from ground level to a given merchantable top diameter and having a minimum length of 2.80 m. The merchantable portion was then separated into its two components: wood (hereinafter called

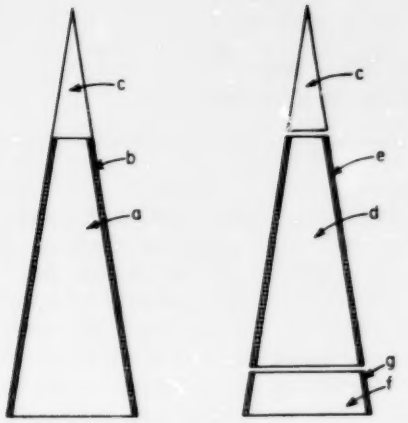


Figure 1. Schematic presentation of the analyzed stem components.

merchantable wood) and bark (hereinafter called merchantable bark). The top of the stem above the merchantable portion was studied without separating it into wood and bark. The stump was analyzed within the merchantable part by its wood and bark portions, and as wood plus bark. All these components of the stem can be observed in Figure 1, where the description of each is as follows:

a - wood of merchantable portion of stem including stump wood,
b - bark of merchantable portion of stem including stump bark,
c - wood plus bark of top portion of stem,
d - wood of merchantable portion of stem excluding stump wood,
e - bark of merchantable portion of stem excluding stump bark,
f - wood of stump portion of stem,
g - bark of stump portion of stem.

Total stem wood and bark, therefore are made up of a, b and c.

Rationale

The ovendry mass of these three stem components, the above mentioned a, b and c, could be analyzed in either of the following two ways: (1) by using the ovendry mass values of components, or (2) by using the percentage values of components. The first approach provides direct ovendry mass (OM) estimates of components; however, the sum of the component estimates will not equal the ovendry mass of the total stem if the latter has been calculated from equations formulated in independent studies. The second method, on the other hand, will ensure that component estimates, once their proportions have been established, will add up to total stem ovendry mass regardless of how the latter was derived. Since this total ovendry mass will often be the only biomass value available, the percentage approach was chosen for the analysis. That is, ovendry mass of merchantable wood, merchantable bark, and top wood plus bark were expressed as percent of ovendry mass of stem wood plus bark (OM%), totaling 100%, and entered into the analysis in that way. Similarly, in the stump analysis, the percentage values were used instead of actual mass values. The percentage approach was also followed in the old Form-class Volume Tables (Forest Service 1930) and later by several other researchers for predicting diameters along the stem, and favored by Honer (1965) for merchantable volume estimations. It was also used by Honer and Heger (1971) in examining the distribution of mass and volume over the tree stem.

For the sum of the component estimates to equal 100% (the total stem estimate), the equations of components to be developed should be based on and contain the same variables. In the estimation of the OM% of merchantable wood, one of these variables would have to be the merchantable top diameter (or merchantable height). However, as the OM% of stump wood plus bark of a given tree at a given stump height is constant and does not vary with the change of the location of the merchantable top diameter, its estimation cannot be related to the same predictors. For this reason,

stump had to be studied separately from the aforementioned three stem components.

After the percentage approach is chosen , the mass percentages were tried to be related to the ratio of merchantable top diameter to breast height diameter (also called relative diameter, dm/d). The logic behind this, is deduced from the following argument:

If we assume that all the stems are in the same shape and are proportionally similar in all dimensions (Figure 2), and if

$$\frac{DE}{AB} = \frac{GH}{AF} = \frac{h_2}{h_1} = \frac{h_4}{h_3}, \quad \text{then}$$

$$\frac{\text{area DEC}}{\text{area ABC}} = \frac{\text{area GHI}}{\text{area AFI}}.$$

In the same way, by rotation of these areas around their vertical axes (Alemdag 1978), the ratios of the volumes so created are also equal. Thus, when the ratio of top diameter to bottom diameter remains the same, regardless of the tree size, the ratio of volume above (or below) the top diameter to the whole stem volume will remain the same. Consequently, ovendry mass, which is a product of volume and wood density, will show the same ratio.

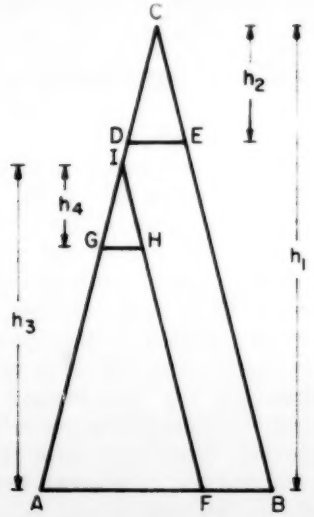


Figure 2. Diagram illustrating the diameter-ratio concept.

Distribution of OM percent of merchantable wood over the dm/d ratio revealed this hypothesis (Figure 3). This illustrated relationship indicated that a given ratio of dm/d corresponds to a given ratio of ovendry mass of merchantable part/ovendry mass of whole stem. It also strongly suggested a function of a second-degree or a third-degree polynomial curve.

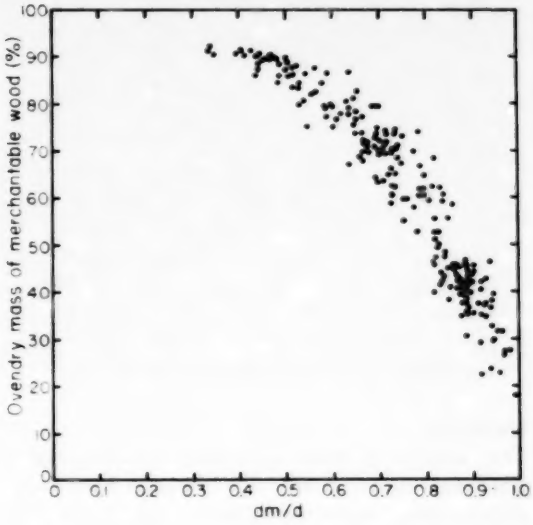


Figure 3. Distribution of observed ovendry mass percents of merchantable wood over merchantable top diameter/breast height diameter ratio in jack pine.

METHODS AND MATERIALS

Data

The sample tree data used for the analysis in this study are those used previously in developing single-tree biomass equations for the above mentioned species in Ontario (Alemdag 1981 and 1982; Alemdag and Horton 1981; Alemdag and Stiell 1982). The red pine data were collected in plantations, all others in natural stands. For each sample tree, the data contained the following variables:

(1) diameter at breast height outside bark (d),
(2) total tree height (h),
(3) merchantable top diameter outside bark (dm) at 1/3, 2/3 and 3/3 of the height at which a diameter of 9.1 cm occurred,
(4) merchantable height (hm) (height from ground level to the merchantable top diameter),
(5) ovendry mass of total stem wood, total stem bark, wood below a given merchantable top diameter, bark below a given merchantable top diameter, wood above a given merchantable top diameter, bark above a given merchantable top diameter, stump wood to a 30-cm stump height and stump bark to a 30-cm stump height. Diameters were recorded in centimetres, heights in metres and mass in kilograms. The smallest merchantable top diameter measured was 9.1 cm with a few exceptions of 8.0 cm. Some of these variables are provided in Table 1.*

Methods

The analyses first centered on merchantable top diameter or its various forms for expressing merchantable wood and the other components. Later on, height to the merchantable top diameter was also used in developing a separate set of estimation equations.

The estimation equations were developed by using the regression analysis technique. Before forming the regression models, two tree species, a softwood (jack pine) and a hardwood (white birch), were chosen as test species. The white birch test data covering a particular locality (the research forest of the Petawawa National Forestry Institute) were drawn from the whole white birch data. After examining several plottings of variables, fourteen test models were prepared for the estimation of OM% of merchantable wood, merchantable bark, and top wood plus bark, and one test model for stump wood plus bark. These models are shown in Table 2. The first eight models are based on breast-height diameter, tree height and merchantable top diameter, the following two models on merchantable top diameter alone, and the next four on breast-height diameter, tree height and merchantable height. The stump model is based on breast-height diameter and tree height, since stump height could not be included in the model because of its fixed value.

Even though the Models 4-8 with dm/d looked most promising, the other models with d, dm and h were also worth testing. Models identical to Model 6 (but without h) and Model 11 were also used by Honer (1965) in his merchantable volume expressions. Note that, theoretically and in practice, the ratio of dm/d is always smaller than 1.0.

As mentioned earlier, the data used in the present study contains ovendry mass values of stump at a constant height of 30 cm. In order to produce estimates of stump percentages at different stump levels, a geometrical analysis was conducted on the stump, considering it as the frustum of a neiloid, and using observed diameters at ground level and at stump height as well as estimated diameters at any given stump level (Alemdag and Honer 1977).

RESULTS AND DISCUSSIONS

Test Results

Results of the regression analysis of the fifteen models using the data of the two test species are summarized in Table 3 for merchantable wood and for stump wood plus bark by their multiple correlation coefficients (R^2) and standard error of estimates as percent of the mean (SEE%). It will be seen that for both species, the first three models performed poorly in estimating merchantable wood by merchantable top diameter. Models 9 and 10 were even worse. The best results were obtained by Models 4, 5, 6, 7 and 8, containing a ratio-variable in the form of dm/d. In all cases this variable or its

*all the tables are in the appendix.

square or cube form accounted for most of the variation (over 90%) in OM% of merchantable wood. The introduction of tree height to these equations did not make any considerable improvement over dm/d in estimating OM%. In some cases the contribution of the height variable turned out to be not significant at all. This was expected because of the above stated rationale on which these models were based.

Because these four models provide almost the same high degree of correlation and precision as measured by R^2 and SEE%, any one of them would equally be suitable as a final model. The best one among them appeared to be Model 4, and it was adopted for all the species and species combinations. Thus:

$$OM\% = b_0 + b_1 \cdot (dm/d) + b_2 \cdot (dm/d)^2$$
(Model 4)

After it was chosen, this model was checked for the homogeneity-of-variance of the residuals using the OM% and OM of merchantable wood of one of the test species. Either in the percentage or in the absolute value, the residuals were evenly distributed along the zero line, and the estimated values over observed values were closely gathered along the 45° line (Figure 4). These conditions indicated that the equations of this model fit the data quite well and no substantial bias was involved.

Since the merchantable portion of a stem can also be defined by its height instead of by its top diameter, it could also be estimated using its merchantable height. The four test models for the estimation of the three components employing the ratio of merchantable height to total tree height (also called relative height, hm/h), which were based on the same argument stated above, gave distinctively different results, with Model 11 being the best. The breast-height diameter, a variable in these three models, made no improvement over hm/h

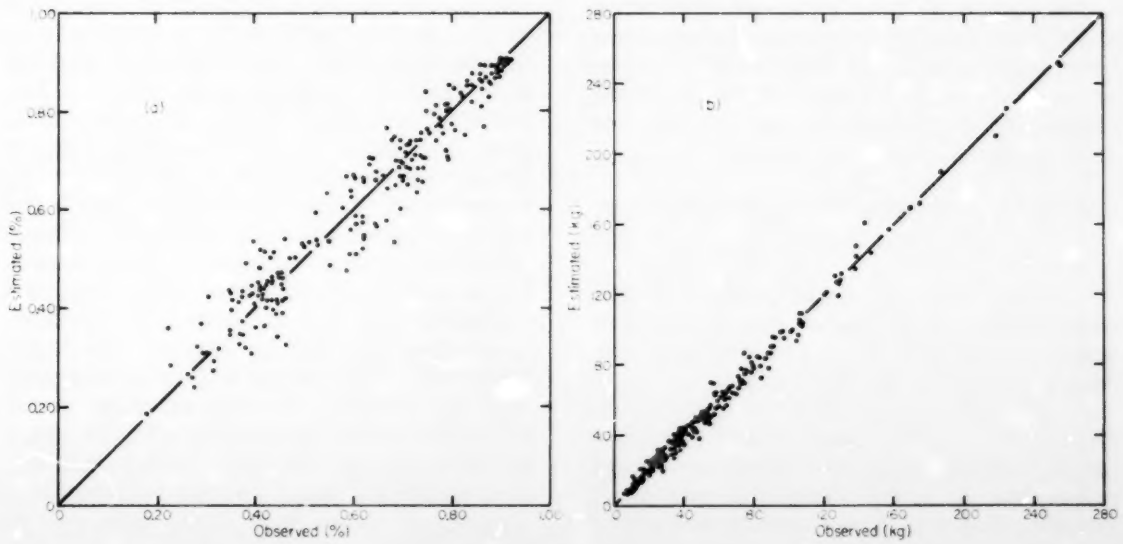


Figure 4. On jack pine, using Model 4, distribution of estimated values along 45° line (a) in terms of OM% and (b) in terms of OM.

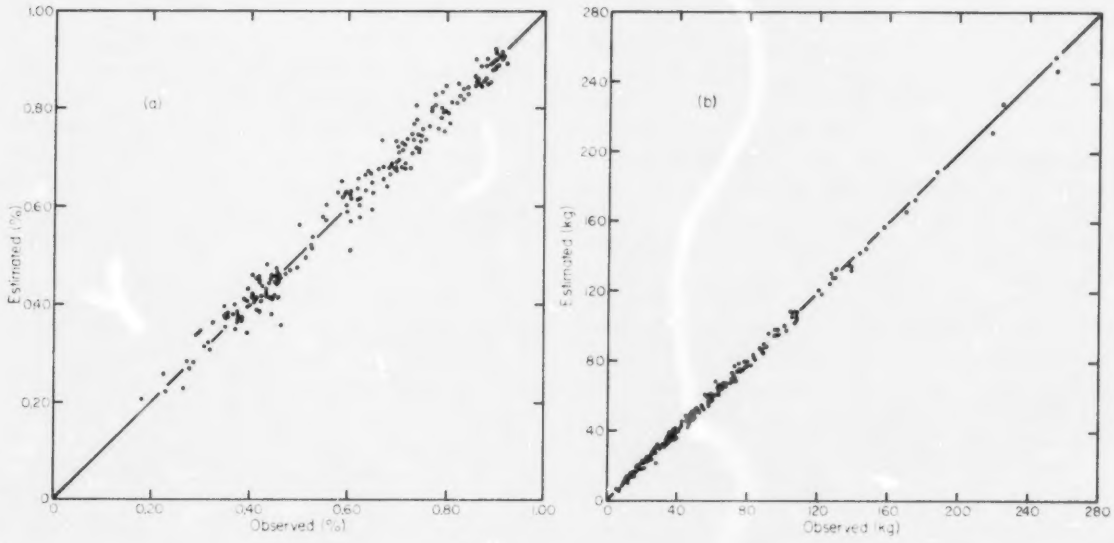


Figure 5. On jack pine, using Model 11, distribution of estimated values along 45° line (a) in terms of OM% and (b) in terms of OM.

or its square or cube in the prediction of OM%. In most of the cases the variable hm/h itself accounted for over 90% of the variation. Therefore, Model 11 was chosen for all the species and the species combinations. Thus:

$$OM\% = b_0 + b_1 \cdot (hm/h) + b_2 \cdot (hm/h)^2$$
(Model 11)

Here too, the requirement for the homogenous variance of residuals was satisfied, and the fit of the model to the data was acceptable (Figure 5).

Tests indicated that, owing to insufficient data at the lower end of the dm/d ratios, Model 4 is restricted to dm/d ratios over a given value. In the same manner, Model 11 is not applicable for the hm/h ratios near to 1.0, its highest value. One way of getting around this situation, that is, of covering the full range of mass percentages from 0.0 to 100.0 is to develop conditional equations. While working with relative diameters we know that when dm/d = 0.0, OM% of merchantable wood plus bark is 100.0 and OM% of top wood plus bark is zero. While working with relative heights, when hm/h = 0.0, OM% of merchantable wood plus bark is zero and OM% of top wood plus bark is 100.0; and when hm/h = 1.0, OM% of merchantable wood plus bark is 100.0 and OM% of top wood plus bark is zero. There is no problem in satisfying these conditions by modifying the forms of the models 4 and 11 for the merchantable wood plus bark and for the top wood plus bark, and then separating the foregoing into wood and bark. These were tested but then it was found that, with the form of the equations adopted, there is still one constraint which is not easy to satisfy. This is to ensure that OM% does not go above 100% or below 0% at any point. This would require some restrictions on the values of the b parameters which could not be handled by an ordinary linear regression program. For this reason and because the unconditional equations

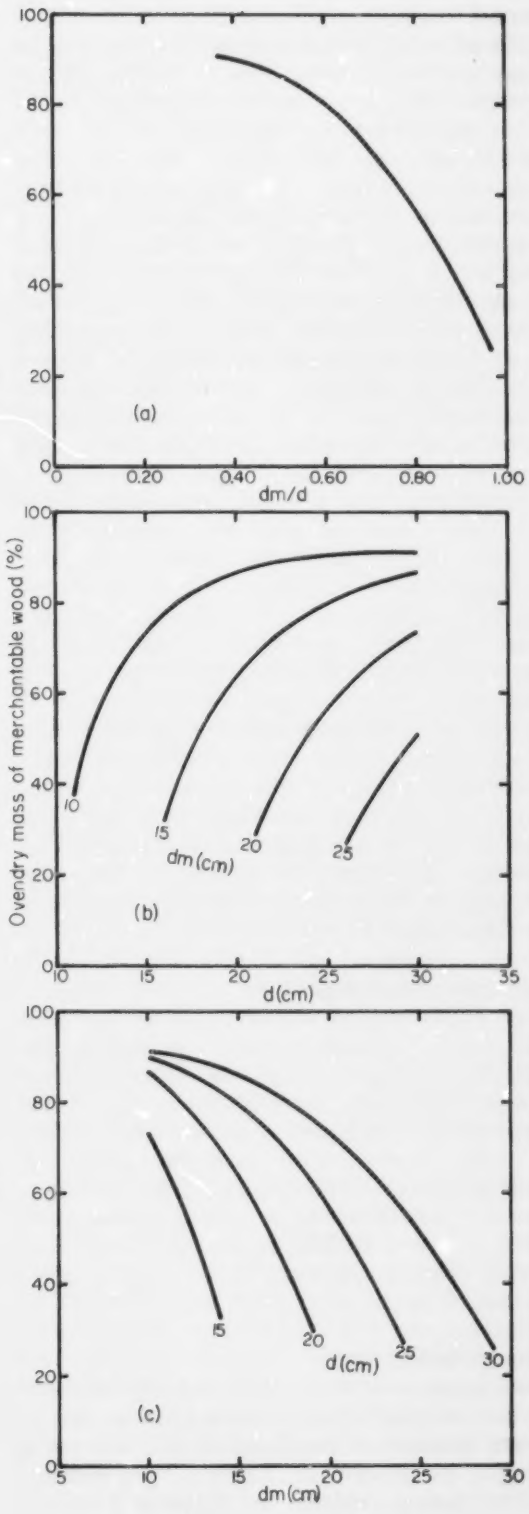
provided an adequate fit to the test data within the range of interest, further work was not undertaken on this matter.

Although neither of the models 9 and 10 has an acceptably high performance, the better of these two is Model 9. Since this type of an equation has a place of use in practice, this model was adopted for all the species and species combinations, where only the stem mass is available and the dimensional single tree data are lacking.

The only possible model for stump wood plus bark produced a relatively reasonable result with the test species jack pine, but a poor result with white birch. For this reason, Model 15 was not adopted for stump wood plus bark estimations. Instead, average stump mass values of wood and of bark as percent of total stem mass wood plus bark were preferred for all species and species combinations.

Two-dimension equations

Model 4, based on ratio dm/d, was used for developing the equations for predicting percents of merchantable wood, merchantable bark, and tree top wood plus bark where merchantability was defined by the merchantable top diameter. The regression coefficients together with R^2 and SEE% values are provided in Tables 4a-4c for individual species and species combinations (because red pine was from plantations, it was not combined with the other species from natural stands). The best estimates are for merchantable wood percent (R^2 around 0.910 to 0.930 and SEE% approximately 8 to 10%) and top wood plus bark percent. Merchantable bark percent estimates are also good and acceptable. It should be noted that these estimates for a given tree by its d and dm add up to 100%. The behaviour of Model 4 can best be observed by Figure 6, using jack pine merchantable



Opposite column:

Figure 6. Behavior of ovendry mass of merchantable wood percent in jack pine: (a) over dm/d ratio, (b) over d for given dm values, and (c) over dm for given d values.

wood as an example. It will be seen that OM of merchantable wood as percent of OM of stem wood plus bark has either decreasingly or increasingly convex shaped curves over dm/d, d or dm. Model 11 was used for developing the equations where merchantability was defined by the merchantable height. The regression coefficients are given in Tables 5a-5c. The R^2 and SEE% values indicate that these estimation equations based on hm are even better than those based on dm. Here too, estimates add up to 100%.

As it will be seen in Tables 4c and 5c, the R^2 and SEE% values of combined species are as good as those for single species. At the same time their regression coefficients are very similar to those of single species and are consistent in regard to plus or minus signs. For these reasons, using the equations of combined species instead of the individual species could be considered as valid and accurate as the others. This decision is left to the user's judgement regarding the nature of the data and the required precision of the work. In Honer's report (1965) on merchantable volume estimations these equations were recommended only for the combined species since it was found that there was almost no difference between these and the individual species equations in their application.

One-dimension equations

The equations of Model 9, using variable dm only, were developed for estimating the percentage values of merchantable wood, merchantable bark, and top. The regression coefficients for all species and species combinations can be found in Tables 6a-6c. The estimated percentages for a given tree total 100%. The very poor R^2 and SEE% values indicate that little confidence could be placed in estimates obtained with these equations.

Stump deductions

The average stump wood and stump bark values of OM% were calculated as arithmetic means of the data at 30-cm stump height as shown in Table 7. However, since stump values at different stump heights are required in practice, the percentage values given in Table 7 were converted to percentages for different stump heights. First, each commonly needed portion of stump (in volume) from the ground level up to a given height was calculated as percent of stump at 30-cm height (in volume), and it was found that the differences are negligible between the species as well as between the stump sizes. Therefore, a single set of values of these proportions was adopted as shown in Table 8. These values are to be applied to stump wood and stump bark percentages of each species and species combinations provided in Table 7 in order to arrive at stump deduction percentages of wood and bark at various stump heights. An example is provided in Table 9, using jack pine.

APPLICATIONS

The equations of Model 4 are to be used with single trees of a known breast-height diameter and a merchantable top diameter in estimating percentages of the three components of the ovendry mass of stem wood plus bark, i.e., (a) merchantable wood, (b) merchantable bark, and (c) top wood plus bark. These equations can also be used with mean stand diameter, and are still valid if only the ratio dm/d is given, without dm and d being individually specified. The equations of Model 11 are to be applied for the same purposes where total tree height together with the height to the merchantable top diameter, or simply the hm/h ratio is provided. However, since all these equations yield percentage values, they must be applied to the ovendry mass of the stem of a given tree in order to come up with the estimates of ovendry mass of these three components.

The equations of models 4 and 11 have some restrictions: the equations of Model 4 are only applicable for dm/d ratios larger than the ones provided in Table 10, the largest being near to but smaller than 1.0, and the equations of Model 11 are restricted to hm/h ratios smaller than the values given in the same

table, the smallest being near to but bigger than zero.

Because the stump was included in the merchantable portion of stem (Figure 1) in developing the equations, the calculated merchantable wood and merchantable bark percentages have to be reduced as much as the stump percentages in order to arrive at net merchantable wood and merchantable bark percentages above a given stump height.

The following is an example for the whole procedure using Model 4.

Let us consider a jack pine stem with d = 12.3 cm, h = 14.00 m and dm = 8.0 cm, cut at a stump height of 20 cm. In this case, the ratio of dm/d is equal to 0.65. When the equations are used with these figures they give 75.46% for merchantable wood, 6.39% for merchantable bark, and 18.15% for top wood plus bark. On the other hand, stump deductions for 20-cm stump height are 2.86% for stump wood and 0.57% for stump bark (Table 9). Therefore, when these are substracted from merchantable wood and merchantable bark, respectively, the actual percentages become 72.60% and 5.82%. The percentage distribution of all these five components of stem wood plus bark can be seen in Table 11 together with some other examples of dm/d for jack pine.

After computing these percentages, actual ovendry mass of the components can easily be calculated by employing them with the ovendry mass of stem wood plus bark of the same tree. By the formula for jack pine previously developed by Alemdag (1982), this mass value is 36.3 kg. Thus, for dm/d = 0.65, in this tree, stump wood becomes 1.0 kg, stump bark 0.2 kg, merchantable wood 26.4 kg, merchantable bark 2.1 kg, and top wood plus bark 6.6 kg. That means, if only the merchantable wood is removed from the stem of this tree, 9.9 kg of stem residue will remain. For the total tree residue, 1.8 kg of live branches and 2.2 kg of twigs plus needles should be added.

Similarly, when two 4-m logs are to be removed from this stem as a merchantable part, then, with hm/h = 8.20/14.00 = 0.59 in Model 11 and with stump deductions taken into consideration, the percentage distribution will be as follows: stump wood 2.86, stump bark 0.57, merchantable wood 75.82, merchantable bark 5.99, and top wood plus bark 14.76.

The equations of Model 9 are solely for the cases where single tree or average stand diameters are not available, and the total stem mass, particularly on an area basis, is derived from volumetric data. If the merchantable top diameter is known, then the component percentages will be calculated and applied to the stand total stem mass to come up with the actual mass values. The stump provisions are to be applied here as well, as explained above.

SUMMARY

1. In developing the equations for estimating the ovendry mass of (a) wood of the merchantable portion of a stem, (b) bark of the merchantable portion of a stem, and (c) wood plus bark of the top of a stem, the percentage approach was preferred over the direct approach.
2. Equations of Model 4 are to be used by dm and equations of Model 11 by hm where dimensional single tree data are available. These equations can also be applied to the mean tree of a stand.
3. Equations of Model 9 are to be used where only total ovendry mass data are available.
4. Stump deductions have to be taken into consideration in order to compute net merchantable-wood and merchantable-bark percentages.
5. Equations of models 4, 11 and 9, and stump deductions can be utilized, either with individual tree species or with the tree species combinations, according to the choice of the user.
6. Equations are applicable only where ovendry mass of stem wood plus bark is available by individual trees (Models 4 and 11) or as a total (Model 9) such as by a given area, by a car load, on a hectare or in a mill yard.
7. The ovendry mass of the merchantable

portion, the top and the stump of a stem would be estimated within the errors associated both with the stem-ovendry mass, and the ovendry mass percentage estimates developed herein.

8. Since it was assumed that the wood density remains the same for a given tree species in a given region, the equations developed herewith to estimate the percent of the ovendry mass of merchantable wood can also be used to approximately estimate the percent of the wood volume that is in the merchantable portion of the stem. In the present case this volume percent is the ratio of the merchantable volume of the stem (inside bark, including stump) to the stem volume (outside bark, including stump and top).

ACKNOWLEDGEMENT

The statistical advice provided by Mr. D.A. MacLeod, Statistician, Computing and Applied Statistics Directorate, Environment Canada, the computer assistance received from Mr. T.L. Pickett, Chief, Computer Unit, Petawawa National Forestry Institute and from Miss M.I. Babyn, 4th year student, Faculty of Forestry, University of Toronto, and the drafting of the figures by Mr. D.J. McGuire are acknowledged with thanks.

LITERATURE

Alemdag, I.S. 1978. An analytical look at the log volume formulas. Environ. Canada, Can. For. Serv., For. Manage. Inst. 17 p.

Alemdag, I.S. 1981. Aboveground-mass equations for six hardwood species from natural stands of the research forest at Petawawa. Dept. Environ., Can. For. Serv., Pet. Natl. For. Inst., Inf. Rep. PI-X-6. 9 p.

Alemdag, I.S. 1982. Aboveground dry matter of jack pine, black spruce, white spruce and balsam fir trees at two localities in Ontario. For. Chron. 58(1): 26-30.

Alemdag, I.S. and T.G. Honer. 1977. Metric relationships between breast-height and stump diameters for eleven tree species from eastern and central Canada. Dept. Environ., Can. For. Serv., For. Manage. Inst., Inf. Rep. FMR-X-49M. 62 p.

Alemdag, I.S. and K.W. Horton. 1981. Single-tree equations for estimating biomass of trembling aspen, largetooth aspen and white birch in Ontario. For. Chron. 57(4): 169-173.

Alemdag, I.S. and W.M. Stiell. 1982. Spacing and age effects on biomass production in red pine plantations. For. Chron. 58(5): 220-224.

Forest Service. 1930. Form-class volume tables. Canada Dep. Interior. 199 p.

Honer, T.G. 1965. Volume distribution in individual trees. Pulp Pap. Mag. Can. 66(11): 499-508.

Honer, T.G. and L. Heger. 1971. Stem weight and volume distribution in six balsam fir trees. Bi-Monthly Res. Notes 27(5): 35-36.

APPENDIX:
TABLES

Table 1. Statistical data for species and species combinations

Species	Number of trees	Number of observations	d(cm) Mean	d(cm) Range	h(m) Mean	h(m) Range	dm/d Mean	dm/d Range	hm/h Mean	hm/h Range
Red pine	149	447	22.0	10.5-36.2	17.88	11.76-25.25	0.683	0.251-0.993	0.486	0.143-0.980
Jack pine	72	216	16.6	10.2-26.8	17.81	11.90-23.50	0.735	0.336-0.990	0.429	0.088-0.847
Black spruce	42	126	13.6	10.0-22.2	13.54	9.10-18.90	0.818	0.405-0.991	0.352	0.079-0.773
White spruce	58	174	16.8	10.4-35.8	13.93	6.20-23.20	0.755	0.251-0.991	0.413	0.096-0.862
Balsam fir	46	138	15.1	10.0-27.4	14.54	8.00-19.20	0.784	0.329-0.992	0.384	0.081-0.781
Trembling aspen	164	492	19.5	10.1-43.5	19.53	9.58-27.25	0.731	0.209-0.995	0.422	0.083-0.852
Largetooth aspen	71	213	19.2	9.6-39.2	19.71	11.60-28.90	0.716	0.232-0.990	0.429	0.066-0.849
White birch	103	309	19.4	10.0-32.7	18.21	11.70-22.25	0.716	0.278-0.992	0.426	0.071-0.797
Red oak	36	108	25.7	16.4-40.4	18.88	14.25-23.00	0.650	0.223-0.976	0.489	0.214-0.831
All softwoods*	218	654	15.8	10.0-35.8	15.27	6.20-23.50	0.767	0.251-0.992	0.400	0.079-0.862
All hardwoods	374	1 122	20.0	9.6-43.5	19.14	9.58-28.90	0.716	0.209-0.995	0.431	0.066-0.852
All species*	592	1 776	18.4	9.6-43.5	17.71	6.20-28.90	0.735	0.209-0.995	0.420	0.079-0.862

*Excluding red pine.

Table 2. Regression models tested

Model No.	Model form
	For merchantable wood, merchantable bark, and tree top wood plus bark by dm
1	$OM\% = b_0 + b_1 \cdot dm^2 + b_2 \cdot d^2 + b_3 \cdot h$
2	$OM\% = b_0 + b_1 \cdot dm^2 + b_2 \cdot h(dm^2)^2 + b_3 \cdot d^2(dm^2)^2$
3	$OM\% = b_0 + b_1 \cdot dm^2 + b_2 \cdot (dm^2)^2 + b_3 \cdot h \cdot dm^2 + b_4 \cdot d^2 \cdot dm^2$
4	$OM\% = b_0 + b_1 \cdot (dm/d) + b_2 \cdot (dm/d)^2$
5	$OM\% = b_0 + b_1 \cdot (dm/d) + b_2 \cdot (dm/d)^2 + b_3 \cdot h$
6	$OM\% = b_0 + b_1 \cdot (dm^2/d^2) + b_2 \cdot (dm^2/d^2)^2 + b_3 \cdot h$
7	$OM\% = b_0 + b_1 \cdot (dm/d)^2 + b_2 \cdot h$
8	$OM\% = b_0 + b_1 \cdot (dm/d)^3 + b_2 \cdot h$
9	$OM\% = b_0 + b_1 \cdot dm$
10	$OM\% = b_0 + b_1 \cdot dm^2$
	For merchantable wood, merchantable bark, and tree top wood plus bark by hm
11	$OM\% = b_0 + b_1 \cdot (hm/h) + b_2 \cdot (hm/h)^2$
12	$OM\% = b_0 + b_1 \cdot (hm/h) + b_2 \cdot (hm/h)^2 + b_3 \cdot d$
13	$OM\% = b_0 + b_1 \cdot (hm/h)^2 + b_2 \cdot d$
14	$OM\% = b_0 + b_1 \cdot (hm/h)^3 + b_2 \cdot d$
	For stump wood plus bark
15	$OM\% = b_0 + b_1 \cdot d + b_2 \cdot d^2 + b_3 \cdot h$

Table 3. Statistical results for the models applied to two test species

Model No.	Jack pine		White birch	
	R^2	SEE%	R^2	SEE%
	(a) For merchantable wood by dm			
1	0.715	17.11*	0.827	11.41
2	0.363	25.58	0.768	13.21
3	0.680	18.17	0.915	8.07
4	0.931	8.39	0.947	6.31
5	0.931	8.40	0.947	6.34
6	0.930	8.46	0.945	6.43
7	0.919	9.10	0.924	7.54
8	0.931	8.42	0.944	6.45
9	0.263	27.39	0.671	15.59
10	0.218	28.22	0.620	16.76
	(b) For merchantable wood by hm			
11	0.981	4.36	0.988	2.97
12	0.982	4.27	0.989	2.84
13	0.865	11.76	0.873	9.74
14	0.751	15.97	0.776	12.93
	(c) For stump wood plus bark			
15	0.683	9.24	0.249	19.47
number of trees	72		35	
number of observations	216		105	
d range, cm	10.2 - 26.8		16.3 - 29.7	
h range, m	11.90 - 23.50		16.48 - 22.25	
dm/d range	0.336 - 0.990		0.303 - 0.964	
hm/h range	0.088 - 0.847		0.187 - 0.782	

*In this and the following tables this value is shown like: (standard error of estimate/mean)·100 = (0.104887/0.613116)·100 = 17.11.

Table 4a. Regression coefficients for Model 4 for the softwood species

Component	Regression coefficients				
	b_0	b_1	b_2	R^2	SEE%
			Red pine		
Merchantable wood	70.523	109.966	-157.566	0.917	8.44
Merchantable bark	7.674	8.754	-13.608	0.712	16.80
Top wood plus bark	22.003	-118.720	171.174	0.916	22.18
			Jack pine		
Merchantable wood	69.383	120.937	-171.664	0.931	8.40
Merchantable bark	4.143	13.336	-15.203	0.630	18.25
Top wood plus bark	26.474	-134.273	186.867	0.933	16.22
			Black spruce		
Merchantable wood	40.410	191.766	-209.326	0.918	10.06
Merchantable bark	2.046	24.044	-23.326	0.714	18.41
Top wood plus bark	57.544	-215.810	232.652	0.919	14.27
			White spruce		
Merchantable wood	70.282	103.401	-148.077	0.948	7.20
Merchantable bark	5.835	17.202	-19.792	0.634	20.64
Top wood plus bark	23.883	-120.603	167.869	0.946	14.41
			Balsam fir		
Merchantable wood	46.841	160.823	-185.023	0.909	10.00
Merchantable bark	11.463	11.381	-19.944	0.780	19.22
Top wood plus bark	41.696	-172.204	204.967	0.922	15.55

Table 4b. Regression coefficients for Model 4 for the hardwood species

Component	Regression coefficients				
	b_0	b_1	b_2	R^2	SEE%
			Trembling aspen		
Merchantable wood	63.449	102.391	-144.963	0.894	11.18
Merchantable bark	16.920	5.385	-18.227	0.660	25.24
Top wood plus bark	19.631	-107.776	163.190	0.911	19.86
			Largetooth aspen		
Merchantable wood	67.474	82.794	-131.142	0.902	10.31
Merchantable bark	14.522	20.714	-31.798	0.730	20.65
Top wood plus bark	18.004	-103.508	162.940	0.925	18.35
			White birch		
Merchantable wood	59.476	121.358	-159.218	0.901	9.94
Merchantable bark	13.736	9.510	-19.791	0.551	29.91
Top wood plus bark	26.788	-130.868	179.009	0.912	20.88
			Red oak		
Merchantable wood	71.810	64.652	-107.916	0.909	8.21
Merchantable bark	10.533	28.059	-33.460	0.619	20.08
Top wood plus bark	17.657	-92.711	141.376	0.913	24.64

Table 4c. Regression coefficients for Model 4 for the combined species

Component	Regression coefficients				
	b_0	b_1	b_2	R^2	SEE%
			Softwoods*		
Merchantable wood	66.162	118.900	-162.050	0.923	9.13
Merchantable bark	6.056	14.232	-17.350	0.504	27.17
Top wood plus bark	27.782	-133.132	179.400	0.925	15.99
			Hardwoods		
Merchantable wood	64.162	99.767	-142.542	0.892	10.74
Merchantable bark	14.999	11.394	-22.501	0.618	26.31
Top wood plus bark	20.839	-111.161	165.043	0.911	20.61
			Softwoods and hardwoods*		
Merchantable wood	60.523	118.420	-157.064	0.888	10.97
Merchantable bark	17.070	-1.943	-11.349	0.505	34.50
Top wood plus bark	22.407	-116.477	168.413	0.916	18.90

*Excluding red pine.

Table 5a. Regression coefficients for Model 11 for the softwood species

Component	Regression coefficients b_0	b_1	b_2	R^2	SEE%
			Red pine		
Merchantable wood	2.195	187.757	-98.499	0.976	4.48
Merchantable bark	0.150	19.840	-11.524	0.756	15.46
Top wood plus bark	97.655	-207.597	110.023	0.975	12.03
			Jack pine		
Merchantable wood	5.985	172.893	-84.215	0.981	4.36
Merchantable bark	1.266	13.730	-8.046	0.662	17.44
Top wood plus bark	92.749	-186.623	92.261	0.983	8.09
			Black spruce		
Merchantable wood	6.454	168.476	-80.093	0.951	7.77
Merchantable bark	0.831	18.755	-11.461	0.779	16.18
Top wood plus bark	92.715	-187.231	91.554	0.956	10.52
			White spruce		
Merchantable wood	6.990	171.956	-88.106	0.975	5.00
Merchantable bark	0.737	22.026	-13.753	0.689	19.05
Top wood plus bark	92.273	-193.982	101.859	0.978	9.21
			Balsam fir		
Merchantable wood	6.651	166.650	-87.306	0.954	7.15
Merchantable bark	0.805	21.737	-8.266	0.787	18.92
Top wood plus bark	92.544	-188.387	95.572	0.962	10.78

Table 5b. Regression coefficients for Model 11 for the hardwood species

Component	Regression coefficients b_0	b_1	b_2	R^2	SEE%
			Trembling aspen		
Merchantable wood	0.943	182.017	-101.509	0.948	7.82
Merchantable bark	0.978	27.838	-10.393	0.692	24.02
Top wood plus bark	98.079	-209.855	111.902	0.964	12.51
			Largetooth aspen		
Merchantable wood	2.470	170.247	-91.041	0.969	5.79
Merchantable bark	0.525	34.983	-15.863	0.771	19.03
Top wood plus bark	97.005	-205.230	106.904	0.990	6.64
			White birch		
Merchantable wood	4.707	178.755	-98.470	0.956	6.58
Merchantable bark	0.935	26.566	-11.562	0.558	29.70
Top wood plus bark	94.358	-205.321	110.032	0.962	13.73
			Red oak		
Merchantable wood	3.267	179.006	-100.728	0.943	6.51
Merchantable bark	-1.532	47.285	-31.095	0.711	17.50
Top wood plus bark	98.265	-226.291	131.823	0.965	15.54

Table 5c. Regression coefficients for Model 11 for the combined species

Component	Regression coefficients b_0	b_1	b_2	R^2	SEE%
			Softwoods*		
Merchantable wood	6.702	168.808	-82.835	0.966	6.06
Merchantable bark	0.688	20.446	-12.905	0.556	25.70
Top wood plus bark	92.610	-189.254	95.740	0.972	9.78
			Hardwoods		
Merchantable wood	2.200	180.025	-100.098	0.948	7.49
Merchantable bark	0.798	29.775	-12.635	0.653	25.08
Top wood plus bark	97.002	-209.800	112.733	0.967	12.62
			Softwoods and hardwoods*		
Merchantable wood	3.765	177.386	-96.390	0.946	7.61
Merchantable bark	1.116	23.490	-8.537	0.497	34.75
Top wood plus bark	95.119	-200.876	104.927	0.968	11.68

*Excluding red pine.

Table 6a. Regression coefficients for Model 9 for the softwood species

Component	Regression coefficients b_0	b_1	R^2	SEE%
		Red pine		
Merchantable wood	96.679	-2.114	0.338	23.8
Merchantable bark	9.563	-0.206	0.281	26.5
Top wood plus bark	-6.242	2.320	0.340	62.0
		Jack pine		
Merchantable wood	101.537	-3.370	0.263	27.4
Merchantable bark	8.751	-0.284	0.279	25.4
Top wood plus bark	-10.288	3.654	0.272	53.4
		Black spruce		
Merchantable wood	90.140	-3.359	0.149	32.4
Merchantable bark	11.284	-0.512	0.320	28.3
Top wood plus bark	-1.424	3.871	0.166	45.5
		White spruce		
Merchantable wood	84.180	-2.001	0.146	29.1
Merchantable bark	11.480	-0.368	0.310	28.3
Top wood plus bark	4.340	2.369	0.168	56.5
		Balsam fir		
Merchantable wood	87.117	-2.798	0.193	29.7
Merchantable bark	11.992	-0.376	0.117	38.4
Top wood plus bark	0.891	3.174	0.188	50.0

Table 6b. Regression coefficients for Model 9 for the hardwood species

Component	Regression coefficients b_0	Regression coefficients b_1	R^2	SEE%
		Trembling aspen		
Merchantable wood	73.223	-1.303	0.128	32.0
Merchantable bark	13.849	-0.250	0.083	41.4
Top wood plus bark	12.928	1.553	0.128	61.9
		Largetooth aspen		
Merchantable wood	77.509	-1.691	0.179	29.8
Merchantable bark	17.429	-0.411	0.154	36.5
Top wood plus bark	5.062	2.102	0.186	60.4
		White birch		
Merchantable wood	90.645	-2.330	0.272	26.9
Merchantable bark	15.004	-0.392	0.143	41.3
Top wood plus bark	-5.649	2.722	0.270	60.1
		Red oak		
Merchantable wood	91.861	-1.795	0.491	19.4
Merchantable bark	20.653	-0.476	0.574	21.1
Top wood plus bark	-12.514	2.271	0.547	55.9

Table 6c. Regression coefficients for Model 9 for the combined species

Component	Regression coefficients b_0	Regression coefficients b_1	R^2	SEE%
		Softwoods*		
Merchantable wood	87.694	-2.530	0.160	30.2
Merchantable bark	10.318	-0.339	0.176	35.0
Top wood plus bark	1.988	2.869	0.172	53.1
		Hardwoods		
Merchantable wood	78.364	-1.543	0.174	29.7
Merchantable bark	15.062	-0.311	0.117	40.0
Top wood plus bark	6.574	1.854	0.177	62.7
		Softwoods and hardwoods*		
Merchantable wood	78.945	-1.652	0.157	30.1
Merchantable bark	11.714	-0.198	0.040	48.0
Top wood plus bark	9.341	1.850	0.146	60.2

*Excluding red pine.

Table 7. Average stump values at 30-cm stump height, as percent of the total stem mass

Species	Mean value of			Stump wood plus bark's	
	Stump wood	Stump bark	Stump wood plus bark	SD†	SE†
Red pine	4.41	0.77	5.18	1.123	0.053
Jack pine	4.19	0.83	5.02	0.802	0.055
Black spruce	5.66	0.78	6.44	1.412	0.126
White spruce	5.90	0.82	6.72	2.110	0.160
Balsam fir	5.03	0.87	5.90	1.874	0.160
Trembling aspen	3.53	0.80	4.33	1.078	0.049
Largetooth aspen	3.34	0.88	4.22	0.862	0.059
White birch	5.16	0.88	6.04	1.573	0.089
Red oak	5.84	1.03	6.87	1.244	0.120
Softwoods*	5.10	0.83	5.93	1.734	0.068
Hardwoods	4.17	0.86	5.03	1.556	0.465
Softwoods and hardwoods*	4.51	0.85	5.36	1.681	0.040

*Excluding red pine.

†SD = standard deviation; SE = standard error of the mean.

Table 8. Volume (and mass) percentages at different stump heights in relation to stump volume at 30 cm

Stump height (cm)	%
5	17.95
10	35.28
15	52.07
20	68.36
25	84.45
30	100.00

Table 9. Deduction percentages of stump wood mass and stump bark mass at different stump heights in total stem mass (wood plus bark) for jack pine

Stump height (cm)	Stump wood (%)	Stump bark (%)	Stump wood plus bark (%)
5	0.75	0.15	0.90
10	1.48	0.29	1.77
15	2.18	0.43	2.61
20	2.86	0.57	3.43
25	3.54	0.70	4.24
30	4.19	0.83	5.02

Table 10. Permissable ratios for the equations of Model 4 and of Model 11

Tree species	Model 4	Model 11
	Smallest permitted dm/d	Largest permitted hm/h
Red pine	0.347 †	0.894
Jack pine	0.359	0.879
Black spruce	0.464	0.860
White spruce	0.359	0.924
Balsam fir	0.420	0.930
Trembling aspen	0.330	0.885
Largetooth aspen	0.318	0.842
White brich	0.366	0.819
Red oak	0.328	0.858
Softwoods*	0.371	0.891
Hardwoods	0.337	0.857
Softwoods and hardwoods*	0.346	0.859

*Excluding red pine.

† A dm/d ratio of 0.347 means, for example, 7/20.2, 8/23.1, 9/25.9 and 10/28.8, and a value such as 0.100 is not realistic for the species studied.

Table 11. Percentage distribution of stump, merchantable part and top of the stem by various stump heights for jack pine using Model 4

dm/d	Stump height (cm)	Stump wood	Stump bark	Net Merchantable wood	Net Merchantable bark	Top wood plus bark	Total
		% of total stem ovendry mass					
0.40	10	1.48	0.29	88.81	6.76	2.66	100.00
	20	2.86	0.57	87.43	6.48	2.66	100.00
	30	4.19	0.83	86.10	6.22	2.66	100.00
0.65	10	1.48	0.29	73.98	6.10	18.15	100.00
	20	2.86	0.57	72.60	5.82	18.15	100.00
	30	4.19	0.83	71.27	5.56	18.15	100.00
0.90	10	1.48	0.29	37.70	3.54	56.99	100.00
	20	2.86	0.57	36.32	3.26	56.99	100.00
	30	4.19	0.83	34.99	3.00	56.99	100.00

Environnement Canada
Service canadien des forêts

Environment Canada
Canadian Forestry Service

Biomasse des parties marchandes et non marchandes de la tige

I.S. Alemdag

Rapport d'information PI-X-20 F
Institut forestier national de Petawawa

Environment Canada
Environnement Canada

0050273K DEST PVM EXCH COPY 03
SD 391 I5614
VOL ISS 20
RAPPORT D'INFORMATION PI-X- (INSTIT
UT FORESTIER NATIONAL DE PETAWAWA)

L'INSTITUT FORESTIER NATIONAL DE PETAWAWA

L'Institut forestier national de Petawawa a été formé le 1er avril 1979 par la fusion de la Forêt expérimentale de Petawawa, qui existait depuis plus de 60 ans, et des Instituts d'aménagement forestier et de recherche sur les feux de forêt, installés tous deux à Ottawa.

L'Institut partage avec le reste du Service canadien des forets l'objectif d'améliorer la gestion et l'exploitation des ressources forestières canadiennes pour les bénéfice, économique et social, de tous les Canadiens. En tant qu'institut national, il met l'accent sur les recherches d'intérêt suprarégional ou demandant des compétences spéciales ou un matériel dispendieux non à la portée des établissements régionaux du SCF. Ces recherches sont souvent effectuées en collaboration étroite avec le personnel des centre régionaux et des services provinciaux des forêts.

Elles se répartissent en deux grands domaines:

INCENDIES DE FORÊT ET TÉLÉDÉTECTION. Chaque année, le feu détruit une superficie importante de la forêt productive canadienne. Les recherches portent surtout sur le comportement des incendies, l'élaboration de nouvelles méthodes de lutte, l'évaluation de matériel d'extinction et de retardateurs, et la mise au point de systèmes informatisés de défense contre les incendies, qui trouvent rapidement des applications dans les services d'incendies dans tout le pays. Les conséquences environnementales et économiques des feux de forêt et l'utilisation de feu comme technique sylvicole en foresterie intensive sont également étudiées.

En télédétection, on s'intéresse à l'application des procédés modernes de télédétection spatiale et aérienne aux problèmes forestiers. À cet égard, le système ARIES d'analyse des images numériques se révèle extrêmement précieux.

GESTION INTENSIVE DES FORÊTS. Au fur et à mesure de l'intensification de la gestion des forêts canadiennes pour répondre à la hausse prévue de la demande, les recherches dans ce domaine prendront de plus en plus d'importance. Un approvisionnement sûr en graines de haute qualité des essences voulues sera nécessaire pour une vaste entreprise de reboisement. Des recherches en génétique pour l'amélioration des arbres sont hautement souhaitables. Il faudra examiner attentivement les incidences environnementales de l'utilisation accrue de toute la partie aérienne de l'arbre, ou de la biomasse, ainsi que d'autres formes de gestion intensive. Les méthodes biotechnologiques permettant d'améliorer le rendement tout en maintenant la productivité sont étudiées.

L'Institut dispose pour ses recherches d'un terrain forestier de 98 km^2 se trouvant dans la partie nord de la réserve militaire de Petawawa. Les registres des expériences et des placettes d'échantillonnage sont conservés depuis les années 20. La forêt sert également de laboratoire pour les étudiants des écoles locales, et un centre pour les visiteurs y est ouvert pendant l'été.

BIOMASSE DES PARTIES MARCHANDES ET NON MARCHANDES DE LA TIGE

Rapport d'information PI-X-20 F

I.S. Alemdag

Institut forestier national de Petawawa
Service canadien des forêts
Ministère de l'Environnement
1983

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada, 1983
N° de catalogue Fo46-11/20-1983F
ISSN 0228-0736
ISBN 0-662-92156-9

Des exemplaires de cette publication peuvent être obtenus à l'adresse suivante:

Centre de distribution des publications
Institut forestier national de Petawawa
Service canadien des forêts
Environnement Canada
Chalk River, Ontario
K0J 1J0

This publication is also available in English under the title Biomass of the Merchantable and Unmerchantable Portions of the Stem.

Table des matières

1 Résumé/Abstract

1 Introduction

1 Exposé

1 Définitions
2 Raisonnement

3 Méthodes et matériel

3 Données
4 Méthodes

4 Résultats et discussion

4 Résultats des essais
7 Équations à deux dimensions
7 Équations à une dimension
8 Déductions pour la souche

8 Applications

10 Récapitulation

10 Remerciements

10 Bibliographie

12 Annexe: Tableaux

Figures

2 1. Présentation schématique des parties de la tige considérées pour l'analyse.
3 2. Diagramme illustrant la proposition concernant le rapport des diamètres.
3 3. Distribution des pourcentages observés de la masse anhydre totale pour le bois marchand en fonction des valeurs correspondantes du rapport diamètre au fin bout/diamètre à hauteur de poitrine chez le pin gris.
5 4. Distribution le long d'une droite à 45° des estimations obtenues, exprimées (a) en % MA et (b) en MA, avec le modèle 4 pour le pin gris.
6 5. Distribution le long d'une droite à 45° des estimations obtenues, exprimées (a) en % MA et (b) en MA, avec le modèle 11 pour le pin gris.

8 | 6. Comportement de la masse anhydre du bois marchand en pourcentage pour le pin gris: (a) en fonction du rapport dm/d, (b) en fonction de d pour des valeurs fixes de dm, et (c) en fonction de dm pour des valeurs fixes de d.

BIOMASSE DES PARTIES MARCHANDES ET NON MARCHANDES DE LA TIGE

Résumé

Des équations de biomasse ont été établies pour neuf espèces d'arbre. Elles estiment séparément la masse des sections non marchandes (souche et sommet) et marchandes de la tige et tiennent compte de hauteurs variables et de différents diamètres à hauteur marchande. Les résultats sont exprimés en pourcentage de la masse anhydre de la totalité de l'arbre comprenant l'écorce. Des exemples d'application sont également fournis.

Abstract

Equations for estimating separately the mass of merchantable and unmerchantable (stump and top) portions of the stem for variable top diameters and heights were derived for nine tree species. Results are expressed as percentages of ovendry mass of the total stem wood plus bark. Examples of application are provided.

INTRODUCTION

Des équations de biomasse ont été établies pour de nombreuses espèces d'arbres de diverses régions du Canada. Sauf peut-être pour quelques exceptions, elles fournissent des estimations de la masse anhydre pour diverses parties de l'arbre, principalement le bois de la tige, l'écorce de la tige, les branches vivantes et les rameaux avec les feuilles (ou les aiguilles). L'estimation de la masse anhydre de l'arbre entier s'obtient soit par sommation de ces diverses estimations ou au moyen d'une équation spéciale. Les estimations obtenues permettent de calculer les résidus bruts laissés dans la forêt ou les dépôts de bois après l'extraction de la partie voulue de l'arbre: le bois de la tige. Toutefois, de meilleures estimations sont nécessaires, car seulement la partie marchande de la tige est ordinairement employée. Comme le sommet non marchand de la tige représente une source potentielle d'énergie, sa masse devrait également être connue. L'objectif du présent rapport est d'établir des équations pour estimer séparément la masse anhydre de la partie marchande (utilisée) et du sommet (partie résiduelle) de la tige. Une autre partie, la souche, est à examiner avec la partie marchande. Les espèces considérées sont le pin rouge (Pinus resinosa Ait.), le pin gris (Pinus banksiana Lamb.), l'épinette noire (Picea mariana (Mill.) B.S.P.), l'épinette blanche (Picea glauca (Moench) Voss), le sapin baumier (Abies balsamea (L.) Mill.), le peuplier faux-tremble (Populus tremuloides Michx.), le peuplier à grandes dents (Populus grandidentata Michx.), le bouleau à papier (Betula papyrifera Marsh.) et le chêne rouge (Quercus rubra L.). Tous le échantillons ont été obtenus en Ontario.

I.S. Alemdag est chercheur à l'Institut forestier national de Petawawa dont l'adresse est: Institut forestier national de Petawawa, Service canadien des forêts, Environnement Canada, Chalk River (Ontario) K0J 1J0.

La publication du manuscrit de la version originale anglaise a été approuvée la 8 décembre 1982.

EXPOSÉ

Définitions

Aux fins de l'analyse, nous avons défini la partie marchande de la tige comme la partie d'une longueur minimale de 2,80 m, s'étendant à partir du sol jusqu'à un diamètre au fin bout donné. Cette partie

Figure 1. Présentation schématique des parties de la tige considérées pour l'analyse.

a ensuite été divisée en ses deux éléments: le bois (appelé ci-après "bois marchand") et l'écorce (appelée ci-après "écorce marchande"). Le sommet de la tige au-dessus de la partie marchande a été étudié sans distinction du bois et de l'écorce. Nous avons analysé la souche dans la partie marchande en considérant le bois et l'écorce séparément et le bois avec l'écorce. Les diverses parties de la tige sont représentées à la figure 1, où la définition des symboles est la suivante:

a - bois de la partie marchande de la tige, y compris le bois de souche;
b - écorce de la partie marchande de la tige, y compris l'écorce de la souche;
c - bois du sommet de la tige avec écorce;
d - bois de la partie marchande de la tige à l'exclusion du bois de la souche;
e - écorce de la partie marchande de la tige à l'exclusion de l'écorce de la souche;
f - bois de la souche;
g - écorce de la souche.

La tige entière, bois et écorce, est donc constituée de a, b et c.

Raisonnement

Pour l'analyse, on pourrait exprimer la masse anhydre des trois composantes de la tige (a, b et c) de l'une des deux façons suivantes: (1) en utilisant les valeurs réelles; ou (2) en utilisant les pourcentages pour chaque composante. La première méthode permettrait d'estimer directement la masse anhydre (MA); toutefois, la somme des estimations pour les diverses composantes ne correspondrait pas à la masse anhydre totale de la tige si celle-ci a été calculée au moyen d'équations établies dans des études différentes. La deuxième méthode, par contre, assure qu'une fois les proportions établies, les estimations pour chaque composante vont s'additionner pour correspondre à la masse anhydre totale, quelle que soit la façon dont celle-ci a été déterminée. Comme la masse anhydre totale est souvent la seule valeur de la biomasse dont on dispose, la deuxième méthode a été choisie pour l'analyse. Ainsi, les masses anhydres du bois marchand, de l'écorce marchande et du bois du sommet de la tige avec écorce ont été exprimées en pourcentage de la masse anhydre totale de la tige (% MA), ce qui fait au total 100 %. Les pourcentages ont également été employés pour l'étude de la souche. La méthode a déjà servi à établir les vieilles tables de volume avec quotient de forme (Service des forêts, 1930), et plusieurs chercheurs y ont eu recours pour prévoir les diamètres le long de la tige. Elle a été adoptée par Honer (1965) pour estimer le volume marchand et par Honer et Heger (1971) pour étudier la distribution de la masse et du volume le long de la tige.

Pour que la somme des estimations pour les diverses composantes soit égale à 100 % (estimation pour la tige totale), les équations pour ces composantes doivent reposer sur les mêmes variables. Dans le cas du bois marchand, l'une de ces variables devra être le diamètre au fin bout (ou la hauteur marchande). Toutefois, dans le cas de la souche, le pourcentage de la masse anhydre totale, pour un arbre donné et une hauteur donnée de la

souche, ne varie pas selon l'emplacement du diamètre au fin bout, et il ne peut être estimé à partir des mêmes variables. Par conséquent, nous avons dû étudier la souche séparément.

Après avoir choisi la méthode des pourcentages, nous avons essayé d'établir une relation entre le pourcentage de la masse anhydre totale et le diamètre relatif (rapport du diamètre au fin bout au diamètre à hauteur de poitrine ou dm/d). Notre argumentation est la suivante:

Si l'on suppose que toutes le tiges ont la même forme et sont proportionnellement similaires dans toutes les dimensions (figure 2) et si

$$\frac{DE}{AB} = \frac{GH}{AF} = \frac{h_2}{h_1} = \frac{h_4}{h_3}, \quad \text{alors}$$

$$\frac{\text{surface DEC}}{\text{surface ABC}} = \frac{\text{surface GHI.}}{\text{surface AFI}}$$

Par le même raisonnement, si l'on fait tourner ces surfaces autour de leur axe vertical (Alemdag, 1978), les volumes ainsi créés restent dans les mêmes rapports. Ainsi, si le rapport du diamètre au fin bout au diamètre du bas reste le même, quelle que soit la taille de l'arbre, le rapport du volume au-dessus (ou au-dessous) du diamètre au fin bout à celui de la tige entière reste aussi le même. Le même raisonnement doit s'appliquer dans le cas de la masse anhydre qui est le produit du volume par la masse volumique.

La distribution des valeurs de % MA pour le bois marchand en fonction du rapport dm/d a démontré cette hypothèse (figure 3). Elle indique qu'à une valeur donnée de dm/d correspond une valeur précise de % MA. Elle semble également indiquer fortement une fonction du

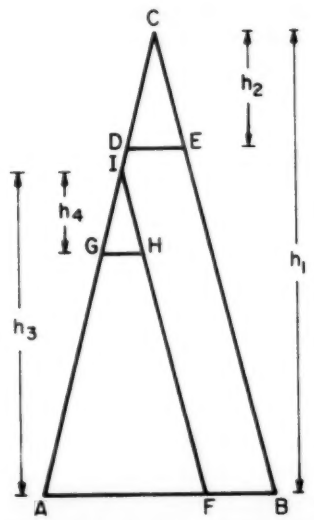


Figure 2. Diagramme illustrant la proposition concernant le rapport des diamètres.

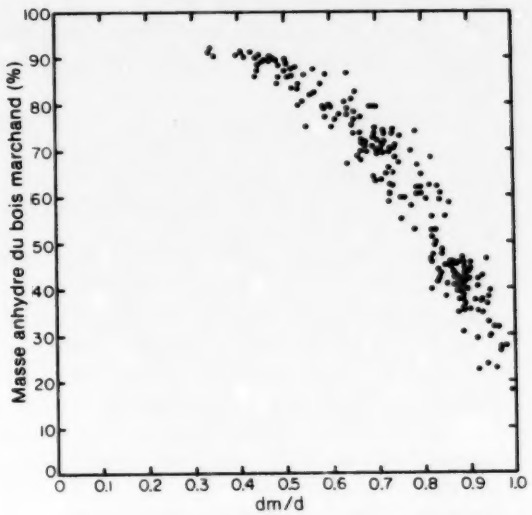


Figure 3. Distribution des pourcentages observés de la masse anhydre totale pour le bois marchand en fonction des valeurs correspondantes du rapport diamètre au fin bout/diamètre à hauteur de poitrine chez le pin gris.

deuxième degré ou une courbe polynomiale de degré 3.

MÉTHODES ET MATÉRIEL

Données

Nous avons employé pour l'analyse les mêmes données qui avaient été utilisées pour l'établissement des équations de la biomasse d'un arbre pour les espèces considérées en Ontario (Alemdag, 1981 et 1982; Alemdag et Horton, 1981; Alemdag

et Stiell, 1982). Tous les arbres poussaient en peuplements naturels sauf les pins rouges qui se trouvaient dans des plantations. Pour chaque arbre échantillon, nous disposions des données suivantes:

(1) diamètre à hauteur de poitrine avec écorce (d);
(2) hauteur totale de l'arbre (h);
(3) diamètre au fin bout de la tige avec écorce (dm) à la hauteur correspondant à un diamètre de 9,1 cm, au 1/3 de cette hauteur et au 2/3;
(4) hauteur marchande (hm) (du sol jusqu'au niveau du diamètre au fin bout);
(5) masses anhydres du bois de toute la tige, de l'écorce de toute la tige, du bois au-dessous et au-dessus d'un diamètre au fin bout donné, de l'écorce au-dessous et au-dessus du même diamètre, du bois de la souche pour une souche de 30 cm et de l'écorce de la souche pour une même hauteur de la souche. Les diamètre étaient enregistrés en centimètres; les hauteurs, en mètres; et les masses, en kilogrammes. Le plus petit diamètre au fin bout mesuré était de 9,1 cm, exception faite de quelques diamètres de 8,0 cm. Les valeurs de quelques-unes de ces variables sont présentées au tableau 1*.

Méthodes

Les analyses ont d'abord porté sur le diamètre au fin bout ou ses diverses formes pour exprimer le bois marchand et les autres composantes. Par la suite, nous avons établi une autre série d'équations d'estimation à l'aide de la hauteur correspondant à ce diamètre.

Les équations d'estimation ont été obtenues par régression. Les essais des modèles de régression ont été effectués à l'aide des données sur deux espèces: un résineux, le pin gris, et un feuillu, le bouleau à papier. Les données d'essai du bouleau à papier, tirées de l'ensemble des données sur celui-ci, proviennent d'un emplacement précis, la forêt de recherche de l'Institut forestier national de Petawawa. Après avoir examiné plusieurs représentations graphiques des variables, nous avons formulé 14 modèles expérimentaux pour estimer le % MA pour le bois marchand, l'écorce marchande et le bois du sommet de la tige avec écorce, et un autre modèle pour le bois de souche avec écorce. Ces modèles sont donnés au tableau 2. Les huit premiers reposent sur le diamètre à hauteur de poitrine, la hauteur de l'arbre et le diamètre au fin bout; les deux suivants, sur le diamètre au fin bout seulement; et les quatre autres, sur le diamètre à hauteur de poitrine, la hauteur de l'arbre et la hauteur marchande. Le modèle s'appliquant à la souche est construit en fonction du diamètre à hauteur de poitrine et de la hauteur de l'arbre, car il était impossible d'inclure la hauteur de la souche qui est fixe.

Même si les modèles 4 à 8 utilisant dm/d semblaient les plus prometteurs, les autres employant d, dm et h méritaient également d'être éprouvés. Honer (1965) s'est servi de modèles identiques au modèle 6 (mais sans h) et au modèle 11 pour établir ses équations du volume marchand. À remarquer qu'en théorie et en pratique le rapport dm/d est toujours inférieur à 1,0.

Comme nous l'avons déjà mentionné, les valeurs de la masse anhydre de la souche sont données pour une hauteur constante de 30 cm. Afin d'obtenir des estimations des pourcentages de la souche à divers niveaux, nous avons effectué une analyse géométrique en considérant la souche comme le tronc d'un néloïde et en employant les diamètres observés au niveau du sol et à la hauteur de la souche, ainsi que les diamètres estimatifs de la souche à certains niveaux (Alemdag et Honer, 1977).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Résultats des essais

Les résultats de l'analyse de régression des 15 modèles avec les données d'essai des deux espèces pour le bois marchand et le bois de souche avec écorce sont présentés au tableau 3 sous forme du

*Tous les tableaux se trouvent à l'annexe.

coefficient de corrélation multiple (R^2) et de l'erreur-type d'estimation en pourcentage de la moyenne (ETE(%)). On verra que, pour les deux espèces, les trois premiers modèles estiment de façon peu efficace le bois marchand à partir du diamètre au fin bout. Les modèles 9 et 10 sont encore moins efficaces. Les meilleurs résultats ont été obtenus avec les modèles 4, 5, 6, 7 et 8 contenant une variable sous forme d'un rapport, soit dm/d. Dans tous les cas, cette variable, ou son carré, ou son cube, explique la plus grande partie de la variation (plus de 90 %) de % MA pour le bois marchand. L'introduction de la hauteur de l'arbre dans ces équations n'apporte pas d'amélioration considérable par rapport à dm/d. Dans certains cas, la contribution de la variable hauteur s'est révélée nullement significative. C'était prévisible vu les principes décrits précédemment sur lesquels reposent les modèles.

Comme le degré de corrélation et la justesse des quatre modèles, déterminés par R^2 et ETE(%) sont à peu près aussi élevés, on pourrait choisir n'importe lequel. Cependant, le modèle 4 nous paraissant supérieur, il a été adopté pour toutes les espèces et tous les groupes d'espèces. Son équation est la suivante:

$$\% \text{ MA} = b_0 + b_1 \cdot (\text{dm/d}) + b_2 \cdot (\text{dm/d})^2$$
(Modèle 4)

Nous avons ensuite contrôlé l'homogénéité de la variance des résidus obtenus avec ce modèle en utilisant les valeurs de % MA et de MA pour le bois marchand de l'une des espèces d'essai. Quel que soit le mode d'expression de la masse anhydre, les résidus étaient répartis uniformément le long de la droite de pente zéro, et la distribution des valeurs estimatives en fonction des valeurs observées suivait étroitement une droite à 45° (figure 4). Cela signifie que les équations du modèle décrivent assez bien les données et ne comportent pas une erreur systématique importante.

Comme la partie marchande d'une tige peut se définir en fonction de la

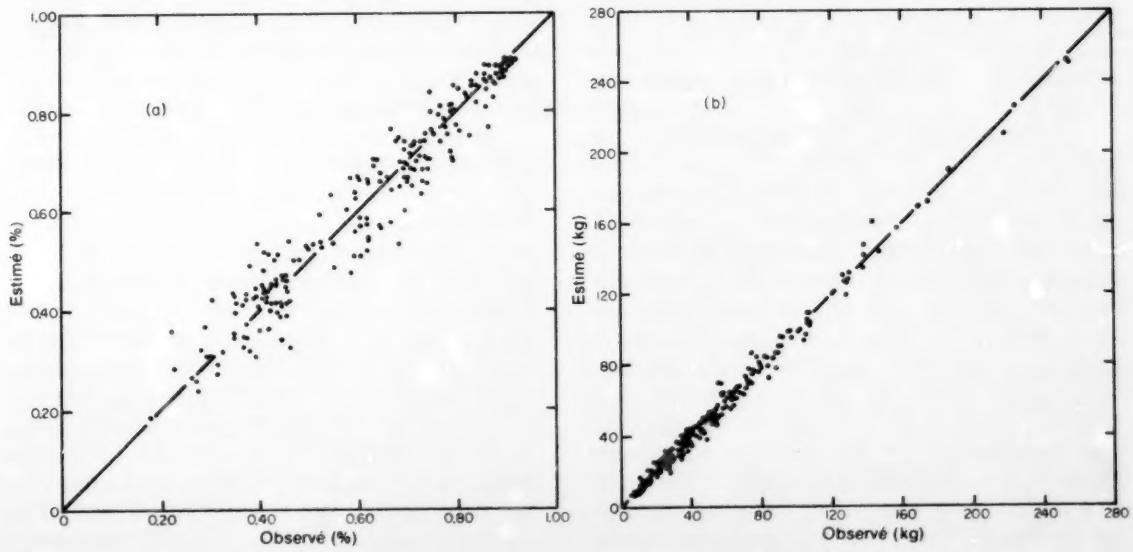


Figure 4. Distribution le long d'une droite à 45° des estimations obtenues, exprimées (a) en % MA et (b) en MA, avec le modèle 4 pour le pin gris.

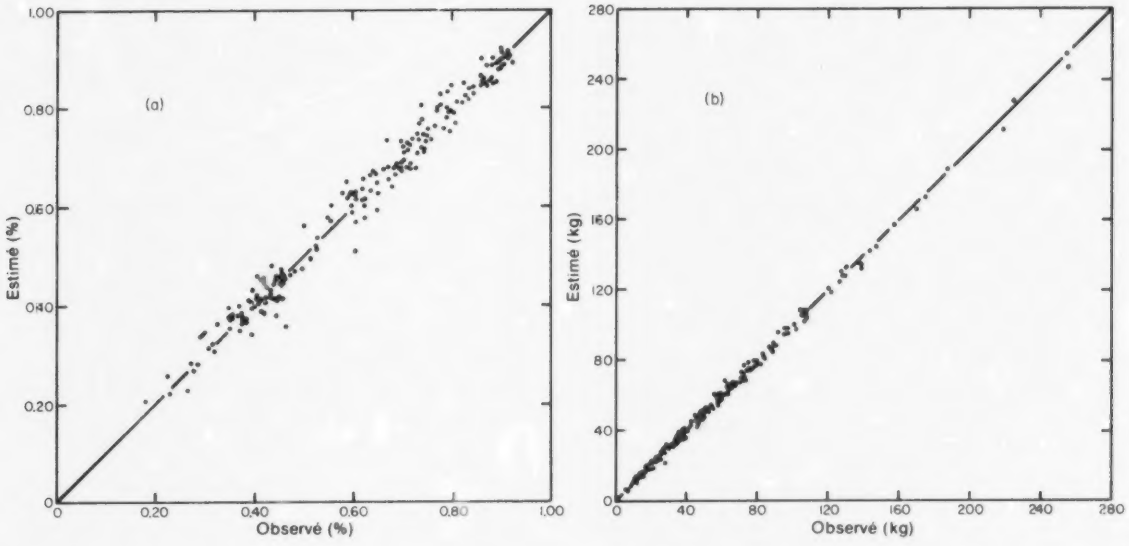


Figure 5. Distribution le long d'une droite à 45° des estimations obtenues, exprimées (a) en % MA, et (b) en MA, avec le modèle 11 pour le pin gris.

hauteur au lieu du diamètre au fin bout, elle peut également s'estimer à partir de la hauteur marchande. Les quatre modèles étudiés reposant sur le rapport de la hauteur marchande à la hauteur totale de l'arbre (également appelé hauteur relative ou hm/h) s'appuient sur le même argument que celui qui a été énoncé précédemment, mais donnent des résultats nettement différents. Le modèle 11 s'est révélé supérieur. Le diamètre à hauteur de poitrine, variable intervenant dans les trois autres modèles, n'a apporté aucune amélioration par rapport à hm/h, ou son carré, ou son cube, pour la prévision de % MA. Dans la plupart des cas, la variable hm/h était responsable de plus de 90 % de la variation. Le modèle 11 a donc été choisi pour toutes les espèces et tous les groupes d'espèces. Son équation est la suivante:

$$\%\ MA = b_0 + b_1 \cdot (hm/h) + b_2 \cdot (hm/h)^2$$
(Modèle 11)

Dans ce cas aussi, l'exigence de l'homogénéité de la variance des résidus est satisfaite, et la correspondance des estimations avec les données est acceptable (figure 5).

Des essais ont indiqué qu'en raison de l'insuffisance des données pour les faibles valeurs de dm/d, le modèle 4 s'applique seulement lorsque dm/d est supérieur à une valeur donnée. De même, le modèle 11 ne convient pas lorsque hm/h est près de 1,0, sa valeur la plus élevée. Pour couvrir la gamme complète des valeurs de % MA, soit 0,0 à 100,0 %, une solution est d'établir des équations conditionnelles. Nous savons que pour dm/d = 0,0, la partie marchande (bois avec écorce) représente 100 % de la masse anhydre totale de la tige, et le sommet de la tige (bois avec écorce), 0 %. Par ailleurs, lorsque hm/h = 0,0 %, la partie marchande constitue 0 % de la masse anhydre totale, et le sommet, 100 %; pour hm/h = 1,0, la partie marchande représente 100,0 % de masse anhydre totale, et le sommet, 0 %. On peut facilement satisfaire à ces conditions en

modifiant la forme des modèles 4 et 11 pour la partie marchande et le sommet de la tige et en séparant le bois et l'écorce. En procédant ainsi, nous avons constaté avec les équations adoptées qu'il y avait encore une condition dificile à satisfaire, soit d'assurer que % MA ne soit jamais supérieur à 100 % ni inférieur à 0 %. Il faudrait pour cela limiter les valeurs des paramètres b, ce qui n'est pas possible avec un programme ordinaire de régression linéaire. Par conséquent, comme avec les équations inconditionnelles la justesse des estimations était satisfaisante dans l'intervalle d'intérêt, nous n'avons pas poussé plus loin les efforts.

Les modèles 9 et 10 n'ont pas la haute efficacité voulue, mais, des deux, le modèle 9 s'est révélé supérieur. Comme une équation de ce genre a son utilité en pratique, ce modèle a été adopté pour toutes les espèces et tous les groupes d'espèces lorsqu'on connaît la masse de la tige mais non les dimensions de l'arbre.

Le seul modèle possible dans le cas du bois de souche avec écorce s'est montré d'une efficacité relativement raisonnable pour le pin gris mais peu élevée pour le bouleau à papier. Le modèle 15 n'a donc pas été adopté. À la place, nous avons préféré employer les valeurs moyennes de la masse de la souche pour le bois et l'écorce, exprimées en pourcentage de la masse totale de la tige, pour toutes les espèces et tous les groupes d'espèces.

Équations à deux dimensions

Le modèle 4, reposant sur le rapport dm/d, a été employé pour établir les équations de prévision du pourcentage de bois marchand, d'écorce marchande et de bois du sommet de la tige avec écorce dans le cas où la qualité marchande est définie d'après le diamètre au fin bout. Les coefficients de régression ainsi que les valeurs de R^2 et d'ETE(%) sont donnés dans les tableaux 4a à 4c pour certaines espèces et certains groupes d'espèces. (Comme le pin rouge provenait de plantations, il n'a pas été groupé avec les autres espèces dont les arbres provenaient de peuplements naturels.) Les meilleures estimations sont obtenues pour le pourcentage de bois marchand (R^2 autour de 0,910 à 0,930 et ETE(%) environ 8 à 10 %) et pour le pourcentage de bois du sommet de la tige avec écorce. Les estimations obtenues pour l'écorce marchande sont également bonnes et acceptables. À remarquer que ces estimations pour un arbre donné obtenues à partir de d et de dm s'additionnent pour donner 100 %. On peut mieux observer le comportement du modèle 4 à la figure 6 pour le bois marchand du pin gris. On constate que la courbe du pourcentage de la masse anhydre du bois de la tige avec écorce a une forme convexe qui s'accentue ou s'affaiblit en fonction de dm/d, de d ou de dm. Le modèle 11 a été employé pour établir les équations lorsque la qualité marchande est définie par rapport à la hauteur marchande. Les coefficients de régression sont donnés dans les tableaux 5a à 5c. D'après les valeurs de R^2 et d'ETE(%), les équations d'estimation utilisant hm sont supérieures à celles reposant sur dm. Ici encore, les estimations s'additionnent pour donner 100 %.

Comme on le voit dans les tableaux 4c et 5c, les valeurs de R^2 et d'ETE(%) pour les groupes d'espèces sont aussi bonnes que celles pour une seule espèce. De plus, comme les coefficients de régression et ceux des espèces individuelles sont très similaires et de même signe, on pourrait considérer que les équations pour les groupes d'espèces sont aussi valides que celles pour les espèces individuelles. La décision, qui dépend de la nature des données et de la précision voulue, est laissée à l'utilisateur. Dans un rapport sur les estimations du volume marchand (1965), Honer a recommandé seulement les équations pour groupes d'espèces, car dans la pratique il n'y avait presque pas de différence entre elles et les équations pour une espèce en particulier.

Équations à une dimension

Les équations du modèle 9, utilisant la variable dm seulement, ont été établies pour estimer les pourcentages de bois marchand, d'écorce marchande et de bois du sommet avec écorce. Les coefficients

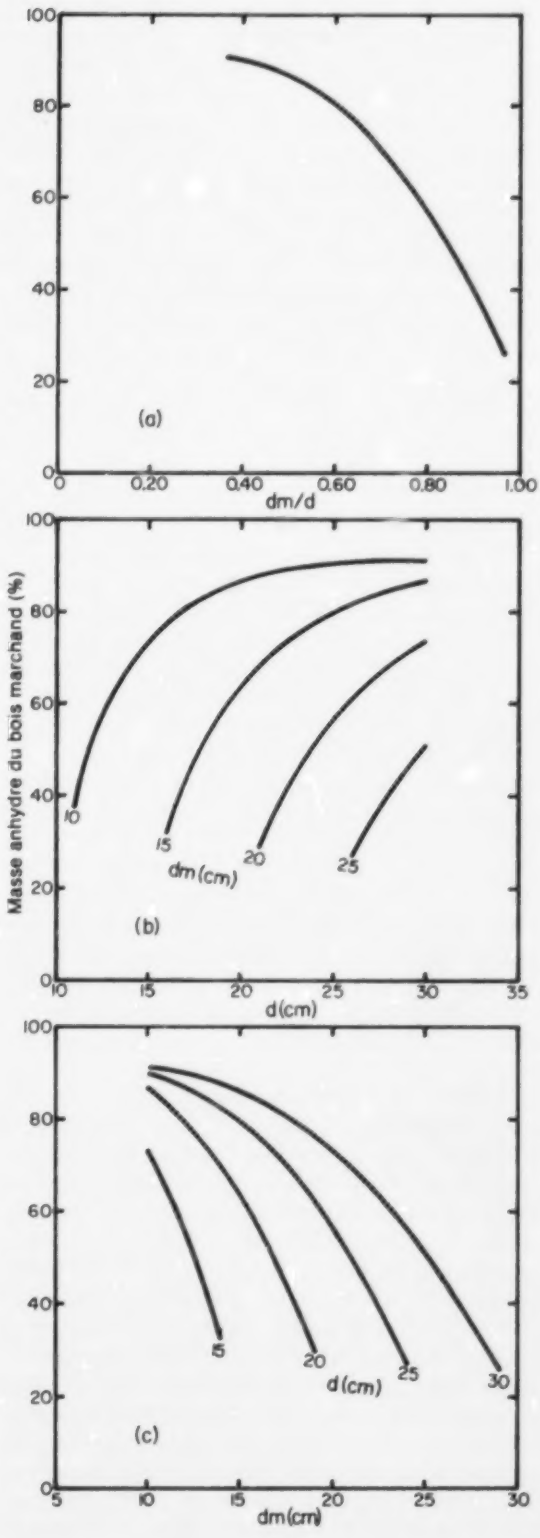
de régression pour chaque espèce et groupe d'espèces sont donnés dans les tableaux 6a à 6c. Les estimations pour un arbre donné s'additionnent pour donner 100 % au total. Les valeurs très médiocres de R^2 et d'ETE(%) indiquent le faible degré de confiance des estimations obtenues au moyen de ces équations.

Déductions pour la souche

Les pourcentages moyens (arithmétiques) de la masse anhydre totale constitués par le bois de la souche et l'écorce de la souche ont été calculés pour une hauteur de la souche de 30 cm (V. tableau 7.) Toutefois, comme on a besoin dans la pratique de valeurs pour diverses hauteurs de la souche, nous avons déterminé, à partir des pourcentages donnés au tableau 7, les pourcentages correspondant à diverses hauteurs de la souche. Premièrement, nous avons calculé le pourcentage du volume d'une souche de 30 cm constitué par chaque partie couramment employée de la souche (du sol jusqu'à une hauteur donnée) et avons trouvé que les différences entre les espèces de même que selon les dimensions des souches étaient négligeables. Par conséquent, nous avons adopté une seule série de données pour ces diverses parties de la souche (V. tableau 8.). On doit appliquer ces valeurs aux pourcentages de la masse totale donnés pour le bois de la souche et l'écorce de la souche pour chaque espèce et groupe d'espèces du tableau 7 pour obtenir les déductions pour le bois et l'écorce à diverses hauteurs de la souche. Un exemple est donné au tableau 9 pour le pin gris.

APPLICATIONS

Les équations du modèle 4 doivent être employées lorsqu'on connaît le diamètre à hauteur de poitrine et le diamètre au fin



Colonne ci-contre:

Figure 6. Comportement de la masse anhydre du bois marchand en pourcentage pour le pin gris: (a) en fonction du rapport dm/d, (b) en fonction de d pour des valeurs fixes de dm, et (c) en fonction de dm pour des valeurs fixes de d.

bout de l'arbre pour estimer le pourcentage de la masse anhydre du bois de la tige avec écorce constitué par ses trois composantes, soit: (a) le bois marchand; (b) l'écorce marchande; et (c) le bois du sommet de la tige avec écorce. Elles peuvent également être employées avec le diamètre moyen d'un peuplement et demeurent valides lorsqu'on connaît seulement la valeur du rapport dm/d sans les valeurs précises de dm et de d. Les équations du modèle 11 sont employées aux mêmes fins lorsqu'on connaît la hauteur totale de l'arbre ainsi que la hauteur correspondant au diamètre au fin bout, ou seulement le rapport hm/h. Toutefois, comme toutes ces équations donnent des valeurs en pourcentage, elles doivent être appliquées à la masse anhydre de la tige de l'arbre pour obtenir les estimations de la masse anhydre des trois composantes.

Les équations des modèles 4 et 11 comportent certaines restrictions: celles du modèle 4 ne s'appliquent que lorsque le rapport dm/d est supérieur à la valeur indiquée au tableau 10 (le rapport le plus élevé étant près de 1,0, mais inférieur), et celles du modèle 11 ne sont valables que lorsque le rapport hm/h est inférieur à la valeur indiquée dans le même tableau (la valeur la plus faible étant près de 0, mais supérieure).

Comme les équations ont été établies avec la souche incluse dans la partie marchande de la tige (figure 1), il faut soustraire les pourcentages s'appliquant à la souche des pourcentages calculés pour le bois marchand et l'écorce marchande afin d'obtenir les pourcentages nets de bois marchand et d'écorce marchande au-dessus d'une hauteur donnée de la souche.

Voici un exemple complet de la façon de procéder avec le modèle 4:

Prenons une tige de pin gris ayant les dimensions suivantes: d = 12,3 cm; h = 14,00 m; et dm = 8,0 cm; cette tige est coupée à une hauteur de 20 cm (souche). Dans ce cas, le rapport dm/d est de 0,65. En transposant ces valeurs dans les équations, on obtient les résultats suivants: 75,46 % pour le bois marchand, 6,39 % pour l'écorce marchande, et 18,15 % pour le bois du sommet de la tige avec écorce. Les déductions à faire pour une souche de 20 cm sont de 2,86 % pour le bois et de 0,57 % pour l'écorce (tableau 9). Une fois les déductions faites, on obtient comme pourcentages réels 72,60 et 5,82 % respectivement. La distribution des pourcentages pour les cinq composantes de la tige est présentée au tableau 11 ainsi que les valeurs correspondantes pour d'autres rapports dm/d pour le pin gris.

Après avoir déterminé les pourcentages, on peut facilement calculer la masse anhydre réelle des diverses composantes à partir de la masse anhydre du bois de la tige avec écorce du même arbre. Cette dernière valeur, tirée de la formule établie par Alemdag pour le pin gris (1982), est de 36,3 kg. Ainsi, pour un arbre dont le rapport dm/d est de 0,65, la masse du bois de la souche serait donc de 1,0 kg, celle de son écorce, de 0,2 kg, celle du bois marchand, de 26,4 kg, celle de l'écorce marchande, de 2,1 kg, et celle du bois du sommet de la tige avec écorce, de 6,6 kg. Cela signifie que si l'on ne prélève que le bois marchand de la tige de cet arbre, il reste 9,9 kg de résidus de la tige. Si l'on considère l'arbre entier, il faut ajouter 1,8 kg pour les branches vivantes et 2,2 kg pour les rameaux et les aiguilles.

De même, si on prélève 2 billes de 4 m de cette tige, comme partie marchande, pour hm/h = 8,20/14,00 = 0,59, avec le modèle 11, après avoir effectué les déductions pour la souche, on obtient les pourcentages suivants: bois de la souche, 2,86 %; écorce de la souche, 0,57 %; bois marchand, 75,82 %; écorce marchande, 5,99 %; et bois du sommet de la tige avec écorce, 14,76 %.

Les équations du modèle 9 s'appliquent seulement lorsqu'on ne connaît pas le diamètre de l'arbre ou le diamètre moyen du peuplement et qu'on détermine la masse totale des tiges, spécialement pour une superficie donnée, à partir des données volumétriques. Si on connaît le diamètre au fin bout, on calcule les pourcentages pour chaque composante et à l'aide de la masse totale des tiges du peuplement, on détermine les masses réelles. Les déductions pour la souche doivent également être effectuées comme il a été expliqué plus haut.

RÉCAPITULATION

1. Pour établir les équations servant à estimer la masse anhydre (a) du bois de la partie marchande d'une tige, (b) de l'écorce de la partie marchande; et (c) du bois avec l'écorce du sommet d'une tige, on a préféré employer les pourcentages que les vraies valeurs.
2. Les équations du modèle 4 utilisant dm et celles du modèle 11 utilisant hm sont employées lorsqu'on connaît les dimensions de l'arbre. Elles s'appliquent également à l'arbre moyen d'un peuplement.
3. Les équations du modèle 9 sont utilisées lorsqu'on possède seulement des données sur la masse anhydre totale.
4. Des déductions pour la souche doivent être apportées pour déterminer les pourcentages nets de bois marchand et d'écorce marchande.
5. L'utilisateur a le choix d'employer les équations des modèles 4, 11 et 9 et les déductions pour la souche qui s'appliquent soit à l'espèce soit au groupe d'espèces.
6. Les équations s'appliquent seulement lorsqu'on connaît la masse anhydre du bois de la tige avec écorce pour un arbre en particulier (modèles 4 et 11) ou sous la forme d'un total (modèle 9) par exemple sur une superficie donnée, pour un chargement, sur un hectare ou dans une cour à bois.
7. Les masses anhydres de la partie marchande, du sommet de la tige et de la souche seraient estimées avec les marges d'erreur que comportent l'estimation de la masse anhydre de la tige et l'estimation du pourcentage de la masse anhydre.
8. Comme nous avons supposé que la masse volumique du bois d'une espèce est uniforme dans une région donnée, les équations établies afin d'estimer le pourcentage de la masse anhydre du bois marchand peuvent également servir à estimer de façon approximative le pourcentage du volume du bois se trouvant dans la partie marchande de la tige. Dans ce cas, le pourcentage représente le rapport du volume marchand de la tige (sous écorce, y compris la souche) au volume de la tige (sur écorce, y compris la souche et le sommet).

REMERCIEMENTS

L'auteur tient à remercier M. D.A. MacLeod, statisticien à la Direction générale de l'informatique et de la statistique appliquée d'Environnement Canada, pour ses conseils en statistique, M. T.L. Pickett, chef de la Section de l'informatique à l'Institut forestier national de Petawawa, et Mme M.I. Babyn, étudiante de quatrième année à la faculté de foresterie de l'université de Toronto, pour leur aide en informatique, ainsi que M. D.J. McGuire pour le tracé des figures.

BIBLIOGRAPHIE

Alemdag, I.S. 1978. An analytical look at the log volume formulas. Environ. Canada, Can. For. Serv., For. Manage. Inst. 17 p.

Alemdag, I.S. 1981. Aboveground-mass equations for six hardwood species from natural stands of the research forest at Petawawa. Dept. Environ., Can. For. Serv., Pet. Natl. For. Inst., Inf. Rep. PI-X-6. 9 p.

Alemdag, I.S. 1982. Aboveground dry matter of jack pine, black spruce, white spruce and balsam fir trees at two localities in Ontario. For. Chron. 58(1): 26-30.

Alemdag, I.S.; Honer, T.G. 1977. Metric relationships between breast-height and stump diameters for eleven tree species from eastern and central Canada. Dept. Environ., Can. For. Serv., For. Manage. Inst., Inf. Rep. FMR-X-49M. 62 p.

Alemdag, I.S.; Horton, K.W. 1981. Single-tree equations for estimating biomass of trembling aspen, largetooth aspen and white birch in Ontario. For. Chron. 57(4): 169-173.

Alemdag, I.S.; Stiell, W.M. 1982. Spacing and age effects on biomass production in red pine plantations. For. Chron. 58(5): 220-224.

Forest Service. 1930. Form-class volume tables. Canada Dep. Interior. 199 p.

Honer, T.G. 1965. Volume distribution in individual trees. Pulp Pap. Mag. Can. 66(11): 499-508.

Honer, T.G.; Heger, L. 1971. Stem weight and volume distribution in six balsam fir trees. Canada Dep. Environ. Bi-Monthly Res. Notes 27(5): 35-36.

ANNEXE:
TABLEAUX

Tableau 1. Statistiques concernant les espèces et groupes d'espèces

Espèces	Nombre d'arbres	Nombre d'observations	d(cm)		h(m)		dm/d		hm/h	
			Moyenne	Intervalle	Moyenne	Intervalle	Moyenne	Intervalle	Moyenne	Intervalle
Pin rouge	149	447	22,0	10,5-36,2	17,88	11,76-25,25	0,683	0,251-0,993	0,486	0,143-0,980
Pin gris	72	216	16,6	10,2-26,8	17,81	11,90-23,50	0,735	0,336-0,990	0,429	0,088-0,847
Épinette noire	42	126	13,6	10,0-22,2	13,54	9,10-18,90	0,818	0,405-0,991	0,352	0,079-0,773
Épinette blanche	58	174	16,8	10,4-35,8	13,93	6,20-23,20	0,755	0,251-0,991	0,413	0,096-0,862
Sapin baumier	46	138	15,1	10,0-27,4	14,54	8,00-19,20	0,784	0,329-0,992	0,384	0,081-0,781
Peuplier faux-tremble	164	492	19,5	10,1-43,5	19,53	9,58-27,25	0,731	0,209-0,995	0,422	0,083-0,852
Peuplier à grandes dents	71	213	19,2	9,6-39,2	19,71	11,60-28,90	0,716	0,232-0,990	0,429	0,066-0,849
Bouleau à papier	103	309	19,4	10,0-32,7	18,21	11,70-22,25	0,716	0,278-0,992	0,426	0,071-0,797
Chêne rouge	36	108	25,7	16,4-40,4	18,88	14,25-23,00	0,650	0,223-0,976	0,489	0,214-0,831
Tous les feuillus*	218	654	15,8	10,0-35,8	15,27	66,20-23,50	0,767	0,251-0,992	0,400	0,079-0,862
Tous les résineux	374	1 122	20,0	9,6-43,5	19,14	9,58-28,90	0,716	0,209-0,995	0,431	0,066-0,852
Toutes les espèces*	592	1 776	18,4	9,6-43,5	17,71	6,20-28,90	0,735	0,209-0,995	0,420	0,079-0,862

*Pin rouge exclu.

Tableau 2. Modèles de régression testés

N° du modèle	Forme du modèle
	Pour le bois marchand, l'écorce marchande et le bois du sommet de l'arbre avec écorce, à partir de dm
1	$\%\,MA = b_0 + b_1 \cdot dm^2 + b_2 \cdot d^2 + b_3 \cdot h$
2	$\%\,MA = b_0 + b_1 \cdot dm^2 + b_2 \cdot h(dm^2)^2 + b_3 \cdot d^2(dm^2)^2$
3	$\%\,MA = b_0 + b_1 \cdot dm^2 + b_2 \cdot (dm^2)^2 + b_3 \cdot h \cdot dm^2 + b_4 \cdot d^2 \cdot dm^2$
4	$\%\,MA = b_0 + b_1 \cdot (dm/d) + b_2 \cdot (dm/d)^2$
5	$\%\,MA = b_0 + b_1 \cdot (dm/d) + b_2 \cdot (dm/d)^2 + b_3 \cdot h$
6	$\%\,MA = b_0 + b_1 \cdot (dm^2/d^2) + b_2 \cdot (dm^2/d^2)^2 + b_3 \cdot h$
7	$\%\,MA = b_0 + b_1 \cdot (dm/d)^2 + b_2 \cdot h$
8	$\%\,MA = b_0 + b_1 \cdot (dm/d)^3 + b_2 \cdot h$
9	$\%\,MA = b_0 + b_1 \cdot dm$
10	$\%\,MA = b_0 + b_1 \cdot dm^2$
	Pour le bois marchand, l'écorce marchande et le bois du sommet de l'arbre avec écorce, à partir de hm
11	$\%\,MA = b_0 + b_1 \cdot (hm/h) + b_2 \cdot (hm/h)^2$
12	$\%\,MA = b_0 + b_1 \cdot (hm/h) + b_2 \cdot (hm/h)^2 + b_3 \cdot d$
13	$\%\,MA = b_0 + b_1 \cdot (hm/h)^2 + b_2 \cdot d$
14	$\%\,MA = b_0 + b_1 \cdot (hm/h)^3 + b_2 \cdot d$
	Pour le bois de la souche avec écorce
15	$\%\,MA = b_0 + b_1 \cdot d + b_2 \cdot d^2 + b_3 \cdot h$

Tableau 3. Résultats statistiques de l'application des modèles aux deux espèces d'essai

N° du modèle		Pin gris		Bouleau à papier	
		R^2	ETE(%)	R^2	ETE(%)
	(a)	Pour le bois marchand, à partir de dm			
1		0,715	17,11*	0,827	11,41
2		0,363	25,58	0,768	13,21
3		0,680	18,17	0,915	8,07
4		0,931	8,39	0,947	6,31
5		0,931	8,40	0,947	6,34
6		0,930	8,46	0,945	6,43
7		0,919	9,10	0,924	7,54
8		0,931	8,42	0,944	6,45
9		0,263	27,39	0,671	15,59
10		0,218	28,22	0,620	16,76
	(b)	Pour le bois marchand, à partir de hm			
11		0,981	4,36	0,988	2,97
12		0,982	4,27	0,989	2,84
13		0,865	11,76	0,873	9,74
14		0,751	15,97	0,776	12,93
	(c)	Pour le bois de la souche avec écorce			
15		0,683	9,24	0,249	19,47
Nombre d'arbres		72		35	
Nombre d'observations		216		105	
Intervalle de d, en cm		10,2 - 26,8		16,3 - 29,7	
Intervalle de h, en m		11,90 - 23,50		16,48 - 22,25	
Intervalle de dm/d		0,336 - 0,990		0,303 - 0,964	
Intervalle de hm/h		0,088 - 0,847		0,187 - 0,782	

*Dans le présent tableau et les tableaux suivants, cette valeur est calculée comme suit: (erreur-type de l'estimation/moyenne) ·100 = (0,104 887/0,613 116) ·100 = 17,11.

Tableau 4a. Coefficients de régression pour le modèle 4 appliqué aux résineux

Composante	Coefficients de régression				
	b_0	b_1	b_2	R^2	ETE(%)
			Pin rouge		
Bois marchand	70,523	109,966	-157,566	0,917	8,44
Écorce marchande	7,474	8,754	-13,608	0,712	16,80
Bois du sommet avec écorce	22,003	-118,720	171,174	0,916	22,18
			Pin gris		
Bois marchand	69,383	120,937	-171,664	0,931	8,40
Écorce marchande	4,143	13,336	-15,203	0,630	18,25
Bois du sommet avec écorce	26,474	-134,273	186,867	0,933	16,22
			Épinette noire		
Bois marchand	40,410	191,766	-209,326	0,918	10,06
Écorce marchande	2,046	24,044	-23,326	0,714	18,41
Bois du sommet avec écorce	57,544	-215,810	232,652	0,919	14,27
			Épinette blanche		
Bois marchand	70,282	103,401	-148,077	0,948	7,20
Écorce marchande	5,835	17,202	-19,792	0,634	20,64
Bois du sommet avec écorce	23,883	-120,603	167,869	0,946	14,41
			Sapin baumier		
Bois marchand	46,841	160,823	-185,023	0,909	10,00
Écorce marchande	11,463	11,381	-19,944	0,780	19,22
Bois du sommet avec écorce	41,696	-172,204	204,967	0,922	15,55

Tableau 4b. Coefficients de régression pour le modèle 4 appliqué aux feuillus

Composante	Coefficients de régression b_0	b_1	b_2	R^2	ETE(%)
			Peuplier faux-tremble		
Bois marchand	63,449	102,391	-144,963	0,894	11,18
Écorce marchande	16,920	5,385	-18,227	0,660	25,24
Bois du sommet avec écorce	19,631	-107,776	163,190	0,911	19,86
			Peuplier à grandes dents		
Bois marchand	67,474	82,794	-131,142	0,902	10,31
Écorce marchande	14,522	20,714	-31,798	0,730	20,65
Bois du sommet avec écorce	18,004	-103,508	162,940	0,925	18,35
			Bouleau à papier		
Bois marchand	59,476	121,358	-159,218	0,901	9,94
Écorce marchande	13,736	9,510	-19,791	0,551	29,91
Bois du sommet avec écorce	26,788	-130,868	179,009	0,912	20,88
			Chêne rouge		
Bois marchand	71,810	64,652	-107,916	0,909	8,21
Écorce marchande	10,533	28,059	-33,460	0,619	20,08
Bois du sommet avec écorce	17,657	-92,711	141,376	0,913	24,64

Tableau 4c. Coefficients de régression pour le modèle 4 appliqué aux groupes d'espèces

Composante	Coefficients de régression b_0	b_1	b_2	R^2	ETE(%)
			Résineux*		
Bois marchand	66,162	118,900	-162,050	0,923	9,13
Écorce marchande	6,056	14,232	-17,350	0,504	27,17
Bois du sommet avec écorce	27,782	-133,132	179,400	0,925	15,99
			Feuillus		
Bois marchand	64,162	99,767	-142,542	0,892	10,74
Écorce marchande	14,999	11,394	-22,501	0,618	26,31
Bois du sommet avec écorce	20,839	-111,161	165,043	0,911	20,61
			Résineux et feuillus*		
Bois marchand	60,523	118,420	-157,064	0,888	10,97
Écorce marchande	17,070	-1,943	-11,349	0,505	34,50
Bois du sommet avec écorce	22,407	-116,477	168,413	0,916	18,90

*Pin rouge exclu.

Tableau 5a. Coefficients de régression pour le modèle 11 appliqué aux feuillus

Composante	Coefficients de régression b_0	b_1	b_2	R^2	ETE(%)
			Pin rouge		
Bois marchand	2,195	187,757	-98,499	0,976	4,48
Écorce marchande	0,150	19,840	-11,524	0,756	15,46
Bois du sommet avec écorce	97,655	-207,597	110,023	0,975	12,03
			Pin gris		
Bois marchand	5,985	172,893	-84,215	0,981	4,36
Écorce marchande	1,266	13,730	-8,046	0,662	17,44
Bois du sommet avec écorce	92,749	-186,623	92,261	0,983	8,09
			Épinette noire		
Bois marchand	6,454	168,476	-80,093	0,951	7,77
Écorce marchande	0,831	18,755	-11,461	0,779	16,18
Bois du sommet avec écorce	92,715	-187,231	91,554	0,956	10,52
			Épinette blanche		
Bois marchand	6,990	171,956	-88,106	0,975	5,00
Écorce marchande	0,737	22,026	-13,753	0,689	19,05
Bois du sommet avec écorce	92,273	-193,982	101,859	0,978	9,21
			Sapin baumier		
Bois marchand	6,651	166,650	-87,306	0,954	7,15
Écorce marchande	0,805	21,737	-8,266	0,787	18,92
Bois du sommet avec écorce	92,544	-188,387	95,572	0,962	10,78

Tableau 5b. Coefficients de régression pour le modèle 11 appliqué aux feuillus

Composante	Coefficients de régression b_0	b_1	b_2	R^2	ETE(%)
			Peuplier faux-tremble		
Bois marchand	0,943	182,017	-101,509	0,948	7,82
Écorce marchande	0,978	27,838	-10,393	0,692	24,02
Bois du sommet avec écorce	98,079	-209,855	111,902	0,964	12,51
			Peuplier à grandes dents		
Bois marchand	2,470	170,247	-91,041	0,969	5,79
Écorce marchande	0,525	34,983	-15,863	0,771	19,03
Bois du sommet avec écorce	97,005	-205,230	106,904	0,990	6,64
			Bouleau à papier		
Bois marchand	4,707	178,755	-98,470	0,956	6,58
Écorce marchande	0,935	26,566	-11,562	0,558	29,70
Bois du sommet avec écorce	94,358	-205,321	110,032	0,962	13,73
			Chêne rouge		
Bois marchand	3,267	179,006	-100,728	0,943	6,51
Écorce marchande	-1,332	47,285	-31,095	0,711	17,50
Bois du sommet avec écorce	98,265	-226,291	131,823	0,965	13,54

Tableau 5c. Coefficients de régression pour le modèle 11 appliqué aux groupes d'espèces

Composante	Coefficients de régression b_0	b_1	b_2	R^2	ETE(%)
			Résineux*		
Bois marchand	6,702	168,808	-82,835	0,966	6,06
Écorce marchande	0,688	20,446	-12,905	0,556	25,70
Bois du sommet avec écorce	92,610	-189,254	95,740	0,972	9,78
			Feuillus		
Bois marchand	2,200	180,025	-100,098	0,948	7,49
Écorce marchande	0,798	29,775	-12,635	0,653	25,08
Bois du sommet avec écorce	97,002	-209,800	112,733	0,967	12,62
			Résineux et feuillus*		
Bois marchand	3,765	177,386	-96,390	0,946	7,61
Écorce marchande	1,116	23,490	-8,537	0,497	34,75
Bois du sommet avec écorce	95,119	-200,876	104,927	0,968	11,68

*Pin rouge exclu.

Tableau 6a. Coefficients de régression pour le modèle 9 appliqué aux résineux

Composante	Coefficients de régression b_0	b_1	R^2	ETE(%)
		Pin rouge		
Bois marchand	96,679	-2,114	0,338	23,8
Écorce marchande	9,563	-0,206	0,281	26,5
Bois du sommet avec écorce	-6,242	2,320	0,340	62,0
		Pin gris		
Bois marchand	101,537	-3,370	0,263	27,4
Écorce marchande	8,751	-0,284	0,279	25,4
Bois du sommet avec écorce	-10,288	3,654	0,272	53,4
		Épinette noire		
Bois marchand	90,140	-3,359	0,149	32,4
Écorce marchande	11,284	-0,512	0,320	28,3
Bois du sommet avec écorce	-1,424	3,871	0,166	45,5
		Épinette blanche		
Bois marchand	84,180	-2,001	0,146	29,1
Écorce marchande	11,480	-0,368	0,310	28,3
Bois du sommet avec écorce	4,340	2,369	0,168	56,5
		Sapin baumier		
Bois marchand	87,117	-2,798	0,193	29,7
Écorce marchande	11,992	-0,376	0,117	38,4
Bois du sommet avec écorce	0,891	3,174	0,188	50,0

Tableau 6b. Coefficients de régression pour le modèle 9 appliqué aux feuillus

Composante	Coefficients de régression b_0	b_1	R^2	ETE(%)
	Peuplier faux-tremble			
Bois marchand	73,223	-1,303	0,128	32,0
Écorce marchande	13,849	-0,250	0,083	41,4
Bois du sommet avec écorce	12,928	1,553	0,128	61,9
	Peuplier à grande dents			
Bois marchand	77,509	-1,691	0,179	29,8
Écorce marchande	17,429	-0,411	0,154	36,5
Bois du sommet avec écorce	5,062	2,102	0,186	60,4
	Bouleau à papier			
Bois marchand	90,645	-2,330	0,272	26,9
Écorce marchande	15,004	-0,392	0,143	41,3
Bois du sommet avec écorce	-5,649	2,722	0,270	60,1
	Chêne rouge			
Bois marchand	91,861	-1,795	0,491	19,4
Écorce marchande	20,653	-0,476	0,574	21,1
Bois du sommet avec écorce	-12,514	2,271	0,547	55,9

Tableau 6c. Coefficients de régression pour le modèle 9 appliqué aux groupes d'espèces

Composante	Coefficients de régression b_0	b_1	R^2	ETE(%)
	Résineux*			
Bois marchand	87,694	-2,530	0,160	30,2
Écorce marchande	10,318	-0,339	0,176	35,0
Bois du sommet avec écorce	1,988	2,869	0,172	53,1
	Feuillus			
Bois marchand	78,364	-1,543	0,174	29,7
Écorce marchande	15,062	-0,311	0,117	40,0
Bois du sommet avec écorce	6,574	1,854	0,177	62,7
	Résineux et feuillus*			
Bois marchand	78,945	-1,652	0,157	30,1
Écorce marchande	11,714	-0,198	0,040	48,0
Bois du sommet avec écorce	9,341	1,850	0,146	60,2

*Pin rouge exclu.

Tableau 7. Pourcentage moyen de la masse anhydre totale de la tige constitué par une souche de 30 cm

Espèces	Pourcentages moyens de la masse totale			Bois de la souche avec écorce	
	Bois de la souche	Écorce de la souche	Bois de la souche écorce	Écart-type†	Erreur-type de la moyenne†
Pin rouge	4,41	0,77	5,18	1,123	0,053
Pin gris	4,19	0,83	5,02	0,802	0,055
Épinette noire	5,66	0,78	6,44	1,412	0,126
Épinette blanche	5,90	0,82	6,72	2,110	0,160
Sapin baumier	5,03	0,87	5,90	1,874	0,160
Peuplier faux-tremble	3,53	0,80	4,33	1,078	0,049
Peuplier à grandes dents	3,34	0,88	4,22	0,862	0,059
Bouleau à papier	5,16	0,88	6,04	1,573	0,089
Chêne rouge	5,84	1,03	6,87	1,244	0,120
Résineux*	5,10	0,83	5,93	1,734	0,068
Feuillus	4,17	0,86	5,03	1,556	0,465
Résineux et feuillus*	4,51	0,85	5,36	1,681	0,040

*Pin rouge exclu.

†SD = Écart-type; SE = Erreur-type de la moyenne.

Tableau 8. Pourcentages du volume (et de la masse) total d'une souche de 30 cm à diverses hauteurs de la souche

Hauteur de la souche (cm)	%
5	17,95
10	35,28
15	52,07
20	68,36
25	84,45
30	100,00

Tableau 9. Déductions en pourcentage de la masse totale de la tige (bois avec écorce) à faire pour le bois et l'écorce de la souche selon la hauteur de celle-ci dans le cas du pin gris

Hauteur de la souche (cm)	Bois de la souche (%)	Écorce de la souche (%)	Bois de la souche avec écorce (%)
5	0,75	0,15	0,90
10	1,48	0,29	1,77
15	2,18	0,43	2,61
20	2,86	0,57	3,43
25	3,54	0,70	4,24
30	4,19	0,83	5,02

Tableau 10. Limites d'application des équations du modèle 4 et du modèle 11

Espèces	Modèle 4 Plus petite valeur permise pour dm/d	Modèle 11 Plus grande valeur permise pour hm/h
Pin rouge	0,347†	0,894
Pin gris	0,359	0,879
Épinette noire	0,464	0,860
Épinette blanche	0,359	0,924
Sapin baumier	0,420	0,930
Peuplier faux-tremble	0,330	0,885
Peuplier à grandes dents	0,318	0,842
Bouleau à papier	0,366	0,819
Chêne rouge	0,328	0,858
Résineux*	0,371	0,891
Feuillus	0,337	0,857
Résineux et feuillus*	0,346	0,859

*Pin rouge exclu.

†Par exemple, dm/d = 0,347 est obtenu lorsqu'on a 7/20,2, 8/23,1, 9/25,9 et 10/28,8, et une valeur comme 0,100 n'est pas réaliste pour l'espèce considérée.

Tableau 11. Pourcentages obtenus pour la souche, la partie marchande et le sommet de la tige pour diverses hauteurs de la souche, dans le cas du pin gris avec le modèle 4

dm /d	Hauteur de la souche (cm)	Bois de la souche	Écorce de la souche	Bois marchandnet	Écorce marchande nette	Bois du sommet avec écorce	Total
		% de la masse anhydre totale de la tige					
0,40	10	1,48	0,29	88,81	6,76	2,66	100,00
	20	2,86	0,57	87,43	6,48	2,66	100,00
	30	4,19	0,83	86,10	6,22	2,66	100,00
0,65	10	1,48	0,29	73,98	6,10	18,15	100,00
	20	2,86	0,57	72,60	5,82	18,15	100,00
	30	4,19	0,83	71,27	5,56	18,15	100,00
0,90	10	1,48	0,29	37,70	3,54	56,99	100,00
	20	2,86	0,57	36,32	3,26	56,99	100,00
	30	4,19	0,83	34,99	3,00	56,99	100,00

POOR

QUALITY

ORIGINAL